



TUGAS AKHIR - TF145565

**RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING*
TEMPERATUR PADA *MINI PLANT HEAT*
EXCHANGER TIPE *SHELL* DAN *TUBE*
BERBASIS *MICROSOFT VISUAL BASIC***

DEVI NUR INDAH SARI
NRP. 2413 031 024

Dosen Pembimbing
Ir. Ya'umar, MT
NIP. 19540406 198103 1 003

PROGRAM STUDI D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TF145565

***DESIGN OF TEMPERATURE MONITORING
SYSTEM IN MINI PLANT HEAT EXCHANGER
SHELL AND TUBE TYPE BASED ON
MICROSOFT VISUAL BASIC***

DEVI NUR INDAH SARI
NRP. 2413 031 024

Supervisor
Ir. Ya'umar, MT.
NIP. 19540406 198103 1 003

DIPLOMA OF METROLOGY AND INSTRUMENTATION ENGINEERING
Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING* TEMPERATUR
PADA *MINI PLANT HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL* DAN *TUBE*
BERBASIS *MICROSOFT VISUAL BASIC***

TUGAS AKHIR

Oleh :

DEVI NUR INDAH SARI
NRP. 2413 031 024

Surabaya, Juli 2016
Mengetahui / Menyetujui

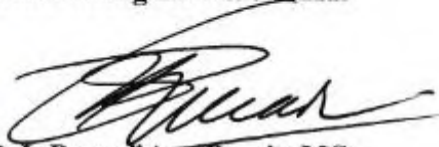
Dosen Pembimbing



Ir. Ya'umar, MT.
NIP. 19540406 198103 1 003



Ketua Program Studi
DIII Metrologi dan Instrumentasi



Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc
NIP. 19620822 198803 1 001

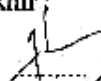



**RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING* TEMPERATUR
PADA *MINI PLANT HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL* DAN
TUBE BERBASIS *MICROSOFT VISUAL BASIC***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
DEVI NUR INDAH SARI
NRP. 2413 031 024

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Ya'umar, MT  (Pembimbing)
2. Ir. Tutug Dhanardono, MT.  (Ketua Tim Penguji)
3. Nur Laila Hamidah, S.T., MSc.  (Penguji I)
4. Bagus Tris Atmaja, S.T., MSc.  (Penguji II)

**SURABAYA
JULI 2016**

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING TEMPERATUR PADA MINI PLANT HEAT EXCHANGER TIPE SHELL DAN TUBE BERBASIS MICROSOFT VISUAL BASIC

Nama Mahasiswa : Devi Nur Indah Sari
NRP : 2413 031 024
Program Studi : D3-Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Ya'umar, MT.

Abstrak

Heat Exchanger adalah sebuah unit yang berfungsi untuk memanaskan suatu fluida produk dengan mengambil energi panas dari media lain, dimana terjadi perpindahan panas dari fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida yang temperaturnya lebih rendah. Heat exchanger tipe shell dan tube merupakan tipe heat exchanger yang melibatkan tube sebagai komponen utamanya, di mana salah satu fluida mengalir di dalam tube, sedangkan fluida lainnya mengalir di luar tube (shell). Temperatur merupakan salah satu besaran fisis yang perlu di kontrol dan monitoring. Pada penelitian ini telah dilakukan sistem monitoring temperatur pada sisi output bagian shell dan tube heat exchanger. Sistem ini terdiri dari sensor termokopel tipe K, rangkaian pengkondisian dan penguat sinyal dengan IC AD595 dan LM358, mikrokontroler ATmega 16, kabel serial RS232 dan RJ11, display LCD 16x2 serta display pada komputer melalui software Microsoft Visual Basic 2013. Monitoring dilakukan dengan waktu pengukuran setiap 1 dan 2 menit. Berdasarkan hasil pengujian temperatur diperoleh dari nilai ketidakpastian pengukuran sebesar $\pm 0,124418^{\circ}\text{C}$ dengan tingkat kepercayaan 95%. Dari hasil pengujian alat pada plant heat exchanger bagian tube, diperoleh nilai penurunan temperatur sebesar $37,14^{\circ}\text{C}$ dari temperatur terukur $74,29^{\circ}\text{C}$ menjadi $37,15^{\circ}\text{C}$ dengan waktu tempuh 32 menit untuk time sampling setiap 1 menit. Dan pada time sampling 2 menit diketahui perubahan temperatur sebesar $21,99^{\circ}\text{C}$ dengan waktu tempuh 26 menit dari temperatur yang mulanya $57,18^{\circ}\text{C}$ menjadi $35,19^{\circ}\text{C}$. Pada set point tube inlet 75°C , tube outlet 45°C , shell inlet $29,81^{\circ}\text{C}$ dan shell outlet $42,52^{\circ}\text{C}$ diperoleh nilai efisiensi perpindahan panas sebesar 0,56.

Kata kunci: Temperatur, monitoring, heat exchanger, shell, tube, visual basic

**DESIGN OF TEMPERATURE MONITORING SYSTEM
IN MINI PLANT HEAT EXCHANGER SHELL AND TUBE TYPE
BASED ON MICROSOFT VISUAL BASIC**

Name : Devi Nur Indah Sari
NRP : 2413 031 022
Study of Program : D3- Metrology and Instrumentation
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor Lecture : Ir. Ya'umar, MT.

Abstract

Heat Exchanger is a function unit for heating a product of fluid with taking heat energy from other medium, where there is a heat transfer from a higher temperature fluid to a lower temperature fluid. Heat exchanger shell and tube type is a type of heat exchanger that involves tube as its main component, in which one of the fluids flowing in the tube, while the other fluid flowing outside the tube (shell). Temperature is one of the physical quantities that need to be in control and monitoring. This study has been carried out the temperature monitoring system on the output side section shell and tube heat exchanger. The system consists of a sensor K type thermocouple, conditioning and amplifier signal circuit with AD595 and LM358 IC, microcontroller ATmega 16, RS232 serial cable and RJ11, 16x2 LCD display and display on a computer through software Microsoft Visual Basic 2013. Monitoring is doing by measuring the time every 1 and 2 minutes. Based on test results obtained showed that the temperature measurement uncertainty of $\pm 0,124418^{\circ}\text{C}$ value with 95% confidence level. From the results of testing tools in plant heat exchanger tube section, the value of $37,14^{\circ}\text{C}$ decrease in temperature of measured temperature $74,29^{\circ}\text{C}$ be $37,15^{\circ}\text{C}$ with a travel time of 32 minutes to each of time sampling 1 minutes. And on 2 minutes time sampling ascertainable temperature changes the value of $21,99^{\circ}\text{C}$ with a travel time 13 minutes from the temperature begin $57,18^{\circ}\text{C}$ to $35,19^{\circ}\text{C}$. At set point value of tube inlet 75°C , 45°C tube outlet, $29,81^{\circ}\text{C}$ shell inlet and $42,52^{\circ}\text{C}$ shell outlet gets heat transfer efisiensi of value 0,56.

Keywords: *Temperature, monitoring, heat exchangers, shell, tube, visual basic*

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 <i>Heat Transfer</i>	5
2.2 <i>Heat Exchanger</i>	5
2.3 Mikrokontroler ATMega 16	7
2.4 Komunikasi Serial USART.....	10
2.5 <i>Microsoft Visual Studio 2013</i>	11
2.6 XAMPP.....	12
2.7 <i>Thermocoupe</i> l Tipe K	13
2.8 Pengukuran dan Teori Ketidakpastian	14
2.8.1. Pengukuran	14
2.8.2. Teori Ketidakpastian Pengukuran	19

BAB III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Gambaran <i>Plant Heat Exchanger</i>	23
3.2 Diagram Alir Perancangan dan Pembuatan Alat	24
3.3 Keterangan <i>Flowchart</i>	25
3.3.1. Studi Literatur.....	25

3.3.2. Perancangan <i>Hardware</i> dan <i>Software</i>	25
3.3.3. Pembuatan Rangkaian <i>Sensing Element</i>	26
3.3.4. Pembuatan Program CVAVR Mikrokontroler ATmega 16	28
3.3.5. Pengintegrasian <i>Hrdware</i> dengan <i>Software</i>	29
3.3.6. Pengujian <i>Hardware</i> dan <i>Software</i>	29
3.3.7. Pembuatan <i>Database</i> dan Program <i>Interface</i> <i>Visual Basic</i>	30
3.3.8. Pengintegrasian <i>Hardware</i> , <i>Software</i> dan Program <i>Interface</i>	32
3.3.9. Pengujian Program <i>Interface</i>	32
3.3.10. Pengambilan dan Pengolahan Data	32
3.3.11. Analisis Data dan Pembahasan	33

BAB IV. ANALISA DATA

4.1 Analisa Data.....	35
4.1.1 Hasil Rancang Bangun.....	35
4.1.2 Pengujian Alat Ukur dan Kalibrasi	36
4.1.3 Pengujian Alat Ukur Pada <i>Heat Exchanger</i>	47
4.1.4 Perhitungan Perpindahan Panas.....	50
4.2 Pembahasan.....	52

BAB V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (Data Pengujian Alat Ukur dan Kalibrasi)	A-1
LAMPIRAN B (<i>Listing Program</i> di Mikrokontroler dan <i>Microsoft Vsual Studio2013</i>)	B-1
LAMPIRAN C (<i>Datasheet</i>)	C-1
LAMPIRAN D (<i>Tabel T- Student Distribution</i>).....	D-1
BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 (a) <i>Paralel Flow</i> ; (b) <i>Counter Flow</i>	6
Gambar 2.2 <i>Heat Exchanger shell and tube</i>	6
Gambar 2.3 <i>Pipa Tube Heat Exchanger</i> Jenis (a) <i>Serpentine</i> , (b) <i>Helical Tube</i> , (c) <i>Bayonent Tube</i>	7
Gambar 2.4 Pin – pin ATmega 16 40-pin DPI	8
Gambar 2.5 <i>Tampilan Awal Software Microsoft Visual Studio</i>	12
Gambar 2.6 <i>Tampilan Welcome Screen XAMPP</i>	13
Gambar 2.7 <i>Prinsip Dasar Thermocouple</i>	14
Gambar 2.8 <i>Grafik non-linieritas</i>	17
Gambar 2.9 <i>Grafik histeresis</i>	18
Gambar 3.1 <i>Shell Heat Exchanger dan Posisi Sensor Pada Tube Outlet</i>	23
Gambar 3.2 <i>Tube Heat Exchanger</i>	23
Gambar 3.3 <i>Flowchart Perancangan Tugas Akhir</i>	25
Gambar 3.4 <i>Diagram Blok Pengukuran Temperatur</i>	26
Gambar 3.5 <i>Rangkaian Sensing Element</i>	27
Gambar 3.6 <i>Skematik Rangkaian Sensing Element</i>	27
Gambar 3.7 <i>Rangkaian Hardware</i>	28
Gambar 3.8 <i>Tampilan Program Pada CAVAR</i>	29
Gambar 3.9 <i>Tampilan Software XAMPP Control Panel</i>	30
Gambar 3.10 <i>Tampilan Database MySQL</i>	31
Gambar 3.11 <i>Tampilan awal interface pada Visual Studio</i>	31
Gambar 3.12 <i>Tampilan Saat Record Data pada Visual Studio</i>	32
Gambar 4.1 <i>Interface Program Monitoring</i>	35
Gambar 4.2 <i>Bentuk Fisik Plant Heat Exchanger</i>	36
Gambar 4.3 <i>Linearitas Sensor Bagian Tube</i>	41
Gambar 4.4 <i>Histerisis Sensor Bagian Tube</i>	43
Gambar 4.5 <i>Linearitas Sensor Bagian Shell</i>	46
Gambar 4.6 <i>Grafik Hubungan Temperatur dengan Waktu Pada Time Sampling 1 Menit</i>	48

Gambar 4.7 Grafik Hubungan Temperatur dengan Waktu
Pada *Time Sampling* 2 Menit 50

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Konfigurasi Pin ATmega 16	9
Tabel 2.2 Persamaan untuk Menyetting Perhitungan	11
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Shell</i> dan <i>Tube Heat Exchanger</i>	23
Tabel 4.1 Perhitungan Kalibrasi Sensor Bagian <i>Tube</i>	37
Tabel 4.2 Perhitungan O_{ideal} Sensor Bagian <i>Tube</i>	41
Tabel 4.3 Perhitungan Histerisis Bagian <i>Tube</i>	43
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Nilai Ketidakpastian Pengukuran Bagian <i>Shell</i>	44
Tabel 4.5 Perhitungan Kalibrasi Sensor Bagian <i>Shell</i>	45
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan O_{ideal} Sensor Bagian <i>Shell</i>	46
Tabel 4.7 Sistem Monitoring Temperatur Heat Exchanger <i>Shell</i> dan <i>Tube Outlet</i> dengan Time Sampling 1 menit	47
Tabel 4.8 Sistem Monitoring Temperatur Heat Exchanger Tube Outlet dengan Time Sampling 2 menit	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ilmu termodinamika erat kaitannya dengan sistem perpindahan panas (*heat transfer*) sebagai sistem proses dari suatu keadaan setimbang ke keadaan yang lain. Mekanisme perpindahan panas menjadi semakin penting karena perpindahan panas memainkan peran penting dalam berbagai aspek, diantaranya pada desain kendaraan, pembangkit listrik, perangkat elektronik dan lain sebagainya. Perkembangan industri pengolahan kimia, pembangkit listrik, pengkondisian udara dan sebagainya telah banyak melakukan perpindahan energi panas dari suatu aliran fluida ke aliran fluida lainnya (Cengel, 2002). Alat yang digunakan untuk melakukan proses perpindahan energi panas tersebut salah satunya adalah *Heat Exchanger*. *Heat Exchanger* adalah suatu alat bantu permesinan yang berfungsi untuk menukarkan panas. Panas dapat mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. *Heat Exchanger* banyak digunakan pada industri – industri seperti oil dan gas. Tipe *heat exchanger* yang cukup populer salah satunya yakni tipe *shell* dan *tube*. Dipilih tipe *shell* dan *tube* diantaranya karena tipe ini memiliki konfigurasi yang memberikan luasan yang besar dengan bentuk atau volume yang kecil, teknik fabrikasi yang sudah baik, mempunyai *lay-out* mekanik yang baik, bentuknya cukup baik untuk operasi bertekanan, mudah dibersihkan dan prosedur perancangannya sudah baik.^[5]

Dalam suatu proses di industri, penggunaan mesin secara terus – menerus merupakan suatu hal yang lazim terjadi. Hal ini menjadikan suatu permasalahan terhadap peningkatan biaya operasi untuk kebutuhan energi, oleh karena itu perusahaan banyak mengarahkan kepada penghematan energi. Pembuatan *heat exchanger* adalah salah satu usaha penghematan energi dan menekan biaya produksi yang bertujuan untuk mempergunakan kembali energi yang tersisa sebagai upaya penghematan energi yang selama ini terbuang begitu saja ke udara.

Pada pembuatan *heat exchanger* hal yang paling penting diperhatikan adalah kegiatan pengontrolan temperatur terhadap setiap proses perpindahan panas, baik pada saat fluida dingin maupun fluida panas. Ada kalanya kemudahan sistem pembacaan temperatur kontrol penting untuk dibuat sedemikian rupa sehingga memudahkan pengguna atau *user* untuk mengetahui setiap perubahan temperatur yang terjadi pada *heat exchanger*. Pada tugas akhir ini akan dibuat sistem monitoring temperatur *heat exchanger* tipe *shell* dan *tube* dengan *Microsoft Visual Basic*, di mana dalam percobaan ini menggunakan air sebagai fluida panas maupun fluida dingin pada proses perpindahan panas. Hasil yang diharapkan adalah adanya sebuah sistem *monitoring* yang dapat memudahkan pengguna untuk *monitoring* setiap proses perpindahan panas serta memudahkan dalam proses *record* data pada proses perpindahan panas pada *heat exchanger* secara *real time* yang tersimpan di dalam *database* dan dapat di laporkan dalam bentuk dokumen sesuai dengan keinginan *user*.

1.2 Rumusan Permasalahan

Perumusan masalah dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini antara lain :

- a. Bagaimana merancang dan membangun sistem monitoring temperatur secara *real time* pada *heat exchanger* tipe *shell* dan *tube*?
- b. Bagaimana karakteristik statik alat perpindahan kalor *heat exchanger* tipe *shell* dan *tube*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian Tugas Akhir ini, maka batasan masalah yang diangkat adalah sebagai berikut :

- a. Alat yang dirancang dan dibangun hanya memiliki fungsi untuk mengukur, *monitoring* dan meng- akusisi data temperatur.

- b. Sensor yang digunakan adalah Termokopel Tipe K sebagai sensor temperatur, Mikrokontroler ATmega 16 sebagai data program, LCD sebagai *display monitor* dan *Visual Basic* sebagai *interface data* serta *database MySQL* sebagai penyimpanan data pada *Personal Computer (PC)*.

1.4 Tujuan

Tujuan dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini antara lain :

- a. Merancang dan membangun sistem *monitoring* temperatur secara *real time* pada *heat exchanger* tipe *shell* dan *tube*?
- b. Mengetahui karakteristik statik alat perpindahan kalor *heat exchanger* tipe *shell* dan *tube*?

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah sebagai sistem monitoring temperatur yang mampu me- *record* data hasil pengukuran temperatur pada *heat exchanger* tipe *shell* dan *tube* secara *real time* dengan menggunakan sistem komunikasi *Visual Studio 2013* yang mana diharapkan Tugas Akhir ini nantinya dapat dijadikan media pembelajaran dan pengetahuan bagi mahasiswa.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

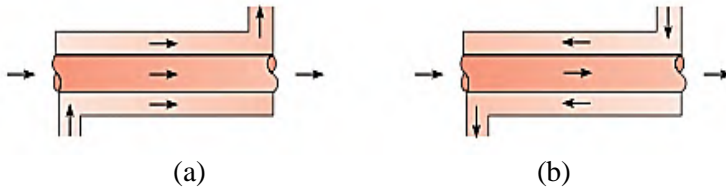
2.1. Heat Transfer

Heat Transfer atau perpindahan panas adalah proses pertukaran panas yang terjadi antara benda panas dan benda dingin, yang masing – masing disebut *source and receiver* (sumber dan penerima). Ada 3 macam cara perpindahan panas yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Alat Penukar Kalor merupakan suatu peralatan di mana terjadi perpindahan panas dari suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida lain yang temperaturnya lebih rendah. Proses perpindahan tersebut dapat dilakukan secara langsung atau tidak langsung. Alat penukar panas langsung ialah di mana fluida yang panas akan tercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu, contohnya *jet condenser*, pesawat *desuperheater* pada ketel (*water injection desuperheater*), pesawat *daerator*. Sedangkan alat penukar panas tidak langsung, ialah dimana fluida panas tidak berhubungan langsung (*indirect contact*) dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panasnya mempunyai media perantara, seperti pipa, pelat atau peralatan jenis lainnya, contoh alat penukar panas tidak langsung antara lain *condensor* pada turbin uap, pesawat pemanas uap lanjut pada ketel, ekonomiser, air *preheater* dan lain – lain.^[8]

2.2. Heat Exchanger

Heat Exchanger adalah sebuah unit yang berfungsi untuk memanaskan suatu fluida produk dengan mengambil energi panas dari media lain, fluida dingin masuk ke dalam *heat exchanger*, terjadi perpindahan panas dari fluida panas ke fluida dingin. Karena energi panas dari fluida panas terserap oleh air dingin, akan terjadi kondensasi (pengembunan) fluida panas. Fluida panas tidak lagi keluar dalam temperatur tinggi tetapi dalam kondisi temperatur rendah. *Heat exchanger* secara khusus diklasifikasikan berdasarkan susunan dan tipe konstruksinya. Secara sederhana *heat exchanger* tersusun dari kesatuan fluida

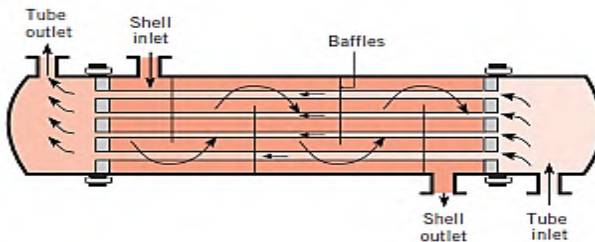
panas dan dingin yang berpindah dalam arah yang sama ataupun berbeda dalam dam kontruksi pipa konsentris atau pipa ganda.



Gambar 2.1 (a) *Paralel Flow*; (b) *Counter Flow*^[1]

Suatu *heat exchanger* terdiri dari elemen penukar kalor yang disebut sebagai inti atau *matrix* yang berisikan di dinding penukar panas, dan elemen distribusi fluida seperti tangki, *nozzle* masukan, *nozzle* keluaran, pipa-pipa, dan lain-lain. Dinding permukaan *heat exchanger* adalah bagian yang bersinggungan langsung dengan fluida yang mentransfer panasnya secara konduksi. (Holman, 1994)

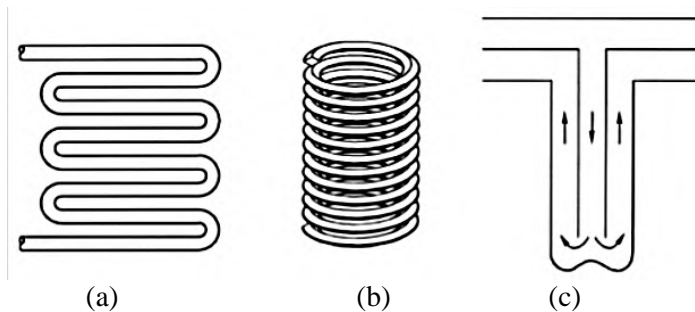
Heat exchanger bekerja berdasarkan prinsip perpindahan panas (*heat transfer*), dimana terjadi perpindahan panas dari fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida yang temperaturnya lebih rendah. Permukaan area *heat exchanger* mempengaruhi efisiensi dan kecepatan perpindahan panas yang lebih besar area permukaan panas *exchanger*, lebih efisien dan yang lebih cepat pemindahan panasnya. (Sitompul, 1993)



Gambar 2.2 *Heat Exchanger shell and tube*^[2]

Heat exchanger tipe *shell and tube* merupakan tipe *heat exchanger* yang melibatkan tube sebagai komponen utamanya. Salah satu fluida mengalir di dalam *tube*, sedangkan fluida

lainnya mengalir di luar *tube*. Pipa-pipa *tube* di desain berada di dalam sebuah ruang berbentuk silinder yang disebut dengan *shell*, sedemikian rupa sehingga pipa-pipa *tube* tersebut berada sejajar dengan sumbu *shell*. Desain pipa *tube* bermacam – macam, diantaranya seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 berikut:



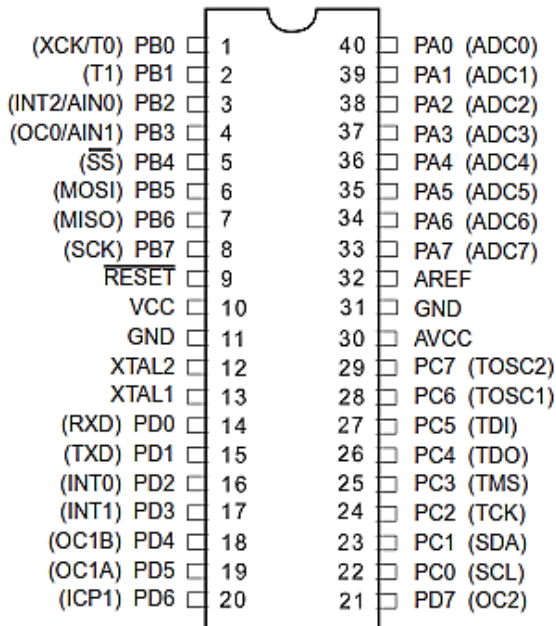
Gambar 2.3 Pipa Tube Heat Exchanger Jenis (a)Serpentine, (b) Helical Tube, (c) Bayonet Tube

2.3. Mikrokontroler ATmega 16

AVR adalah mikrokontroler CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) – 8 bit berbasis arsitektur *Harvard RISC (Reduced Instruction Set Computer)* yang dibuat oleh Atmel. AVR mempunyai 32 *register general purpose*, *timer/ counter* fleksibel dengan *mode compare*, *interrupt internal* dan *eksternal*, serial UART, *programmable Watchdog Timer*, dan *mode power saving*, ADC dan PWM internal. AVR juga mempunyai *In-System Programmable Flash on-chip* yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI. AVR memiliki kecepatan dalam mengeksekusi program lebih cepat karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock*.

ATmega 16 mempunyai *throughput* mendekati 1 *Millions Instruction Per Second (MIPS)* per MHz sehingga membuat konsumsi daya menjadi rendah terhadap kecepatan proses eksekusi perintah. Adapun keunggulan dari AVR ATmega 16 antara lain:

- Mikrokontroler AVR 8 bit memiliki kemampuan tinggi dengan konsumsi daya rendah.
- Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16MHz
- Kapasitas *flash memory* 16 Kbyte, EEPROM 512 Byte dan SRAM 1 Kbyte
- Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu *Port A*, *Port B*, *Port C*, *Port D*
- CPU yang terdiri dari 32 buah *register*
- Unit interupsi dan eksternal
- Port USART untuk komunikasi serial
- Non- volatile program memory*



Gambar 2.4 Pin – pin ATmega 16 40-pin DPI

CodeVision AVR dan AVR STUDIO merupakan salah satu *software* yang digunakan dalam pengembangan sistem mikrokontroler AVR buatan ATMEL. AVR STUDIO merupakan

software khusus untuk bahasa *assembly* yang mempunyai fungsi sangat lengkap, yaitu digunakan untuk menulis program, kompilasi, simulasi dan *download* program ke IC mikrokontroler AVR dapat dilakukan pada *Code Vision*.

Tabel 2.1 Konfigurasi Pin ATmega 16

Pin ATmega 16	Fungsi
Gnd	<i>Ground</i> (0 V)
Vcc	Tegangan <i>Supply</i> Digital (+5 V)
PORT A (PA7... PA0)	Berfungsi sebagai <i>input</i> analog ke A/ D Converter, sebagai 8 bit <i>bi-directional</i> I/ O Port jika port ADC tidak digunakan
PORT B (PB7... PB0)	Pin <i>input/ output</i> dua arah (<i>full duplex</i>). Terdapat pula pin khusus diantaranya PB0 (XCK, T0), PB1 (T1), PB2 (INT2, AIN0), PB3 (OC0, AIN1), PB4 (SPI <i>Slave Select Input</i>), PB5 (MOSI), PB6 (MISO), PB7 (SCK)
PORT C (PC7... PC0)	Pin <i>input/ output</i> dua arah (<i>full duplex</i>). Terdapat pula pin khusus diantaranya PC0 (SCL), PB1 (SDA), PC2 (TCK), PC3 (TMS), PC4 (TDO), PC5 (TDI), PC6 (TOSC1), PB7 (TOSC2)
PORT D (PD7... PD0)	Pin <i>input/ output</i> dua arah (<i>full duplex</i>), dengan pin khusus diantaranya PD0 (RXD), PD1 (TXD), PD2 (INT0), PD3 (INT1), PD4 (OC1B), PD5 (OC1A), PD6 (ICP), PD7 (OC2)
<i>Reset</i>	Me- <i>reset</i> mikrokontroler
XTAL1	<i>Input</i> ke penguat pembalik <i>Oscillator</i> dan masukan ke sirkuit operasi jam <i>internal</i>
XTAL2	<i>Output</i> dari penguat pembalik <i>Oscillator</i>
AVCC	Pasokan teganga pin PORT A dan A/ D Converter
AREF	Pin referensi analog untuk A/ D Converter

2.4. Komunikasi Serial USART

Komunikasi data serial sangat berbeda dengan format pemindahan data paralel. Pada proses komunikasi serial, pengiriman bit – bit tidak dilakukan sekaligus melalui saluran paralel, tetapi setiap bit dikirimkan satu per satu melalui saluran tunggal. Pada mikrokontroler AVR untuk mengaktifkan dan mengatur komunikasi USART dilakukan dengan cara mengaktifkan *register – register* yang digunakan untuk komunikasi USART. USART (*Universal Synchronous and Asynchronous serial Receive and Transmitter*) merupakan perangkat komunikasi serial yang sangat fleksibel. USART dapat difungsikan sebagai transmisi data sinkron dan sinkron, sinkron berarti *clock* yang digunakan antara *transmitter* dan *receiver* satu sumber *clock* sedangkan asinkron berarti *transmitter* dan *receiver* mempunyai sumber *clock* sendiri – sendiri. *Register – register* yang digunakan untuk komunikasi USART antara lain USART I/O Data Register (UDR) dan USART Control and Status Register A(UCSRA). USART terdiri dari tiga blok yaitu clock generator transmitter dan *receiver*. Clock generator berhubungan dengan kecepatan transfer data (*baud rate*) *register* yang bertugas menentukan *baud rate* adalah *register* UBRR (USART Baud Rate Register).

Komunikasi serial dapat menggunakan RS232 untuk berhubungan dengan perangkat lainnya. Pada umumnya RS232 menggunakan DB9 PC *signal set* untuk terhubung dengan port serial pada PC. Terdapat 9 pin pada RS232 yaitu, pin 1 untuk *receive line signal* dan detektor (*data carrier*), pin 2 untuk *receive data*, pin 3 untuk *transmit data*, pin 4 untuk *data terminal ready*, pin 5 untuk *signal ground*, pin 6 untuk *data set ready*, pin 7 untuk *request to send*, pin 8 untuk *clear to send*, dan pin 9 untuk *ring indicator*.

Tabel 2. 2 Persamaan untuk menyetting perhitungan *register baud rate*

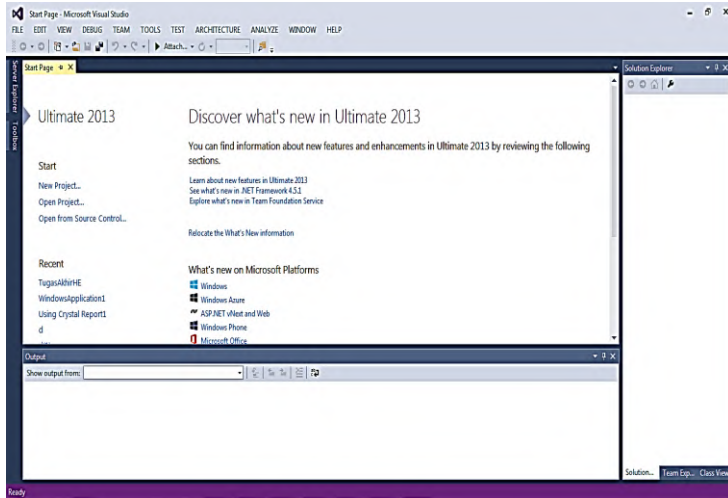
<i>Mode Operasi</i>	<i>Persamaan Menghitung Baud Rate</i>	<i>Persamaan Untuk Menghitung Nilai UBRR</i>
<i>Asynchronous Normal Mode (U2X = 0)</i>	$BAUD = \frac{f_{osc}}{16(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1$
<i>Asynchronous Double Speed Mode (U2X=1)</i>	$BAUD = \frac{f_{osc}}{8(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{8BAUD} - 1$
<i>Synchronous Master Mode</i>	$BAUD = \frac{f_{osc}}{2(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{2BAUD} - 1$

Berdasarkan tabel 2.2 dikenal istilah *Focs* dan *baud*. Dimana *Fosc* adalah frekuensi *oscilator* yang digunakan dan *baud* adalah *transfer* per detik.

2.5. Microsoft Visual Studio 2013

Microsoft Visual Studio merupakan sebuah perangkat lunak yang dilakukan untuk pengembangan aplikasi seperti aplikasi bisnis, *personal*, ataupun komponen aplikasinya dalam bentuk aplikasi *console*, aplikasi *windows*, ataupun aplikasi web. *Visual studio* mencakup kompiler (Visual C++, Visual C#, Visual Basic, *Visual Basic .NET*, Visual InterDev, Visual J++, Visual J#, *Visual FoxPro*, dan *Visual SourceSafe*), SDK, *Integrated Development Enviroment* (IDE) dan dokumentasi. *Microsoft Visual Studio* dapat digunakan untuk mengembangkan aplikasi dalam *native code* (bahasa mesin yang berjalan di *Windows*) ataupun *manage code* (*Microsoft Intermediate Language* di atas

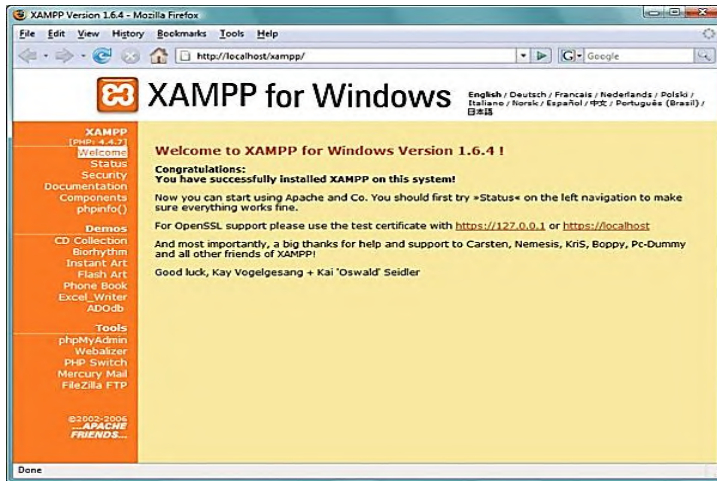
.NET Framework), mengembangkan aplikasi Silverlight, aplikasi Windows Mobile (berjalan di .NET Compact Framework). Microsoft Visual Studio 2013 diluncurkan pada November 2013, yang ditujukan untuk platform Microsoft .NET Framework 3.5



Gambar 2.5. Tampilan Awal *Software Microsoft Visual Studio*

2.6 XAMPP

XAMPP adalah aplikasi *web server* yang berdiri sendiri (*localhost*) yang terdiri atas program Apache, MySQL, PHP, dan Perl. XAMPP merupakan pengembangan dari LAMP (Linux Apache, MySQL, PHP and PERL), XAMPP merupakan *project non-profit* yang dikembangkan oleh *Apache Friends* yang didirikan Kai'Oswalad' Seidler dan Key Vogelgesang pada tahun 2002 dengan tujuan untuk mempromosikan penggunaan *Apache Web Server*. XAMPP berfungsi untuk memudahkan instalasi PHP, di mana biasanya pengembangan web memerlukan php, apache, mysql dan php my admin serta *software – software* yang terkait dengan pengembangan web. Dengan menggunakan XAMPP, tidak perlu meng- *instal* aplikasi – aplikasi tersebut satu per satu.



Gambar 2.6 Tampilan *Welcome Screen* XAMPP

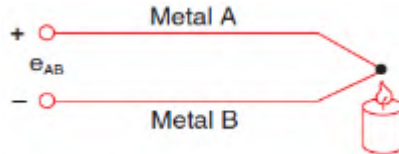
Salah satu fitur XAMPP yaitu phpMyAdmin. Php myadmin adalah sebuah aplikasi *open source* yang berfungsi untuk memudahkan manajemen MySQL. Fitur ini merupakan *webbase control panel* untuk MySQL yang telah terinstal di dalam PC. Pada MySQL ini dapat digunakan untuk membuat, memodifikasi dan menghapus *database* dan tabel data.

MySQL merupakan alah satu jenis *database server* yang menggunakan bahasa SQL untuk mengakses *database*-nya. Lisensi MySQL adalah FOSS License Exception dan ada juga yang versi komersial. Tag MySQL adalah “*The World’s most popular open source database*”. MySQL tersedia untuk beberapa platform, diantaranya adalah untuk versi windows dan versi linux. Untuk melakukan administrasi secara lebuah mudah terhadap MYSQL, diantaranya adalah Php My Admin dan MySQL Yog.

2.7. *Thermocouple* tipe K

Thermocouple merupakan sensor temperatur yang tersusun atas gabungan 2 buah logam, dimana diantara 2 logam tersebut akan timbul tegangan (*seedbeck voltage*) yang berubah terhadap perubahan temperatur. *Thermocouple* merupakan sensor

temperatur yang bisa digunakan mengukur suhu dengan nilai yang tinggi, sehingga sensor suhu *thermocouple* banyak digunakan untuk industri. *Thermocouple* memiliki nilai output yang kecil dengan noise yang besar, sehingga memerlukan rangkaian pengkondisian sinyal agar nilai output tersebut dapat dibaca dengan baik.



Gambar 2.7 Prinsip Dasar *Thermocouple*

Terdapat berbagai jenis *thermocouple* diantaranya, tipe B, E, J, K, N, R, S, dan T. *Thermocouple* tipe K terbuat dari campuran crome/ alume, *thermocouple* ini harganya murah dengan tingkat sensitifitas tinggi dan jangkauan pengukuran dari -200°C hingga $+1200^{\circ}\text{C}$.

2.8. Pengukuran dan Teori Ketidakpastian

2.8.1. Pengukuran

Pada dasarnya pengukuran bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai sifat – sifat fisik, kimia dan biologi dari suatu benda atau keadaan atau proses, dan untuk mengatur sesuai dengan informasi yang diinginkan. Pengukuran merupakan serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menentukan nilai suatu besaran dalam bentuk angka (kuantitatif). Secara umum mengukur berarti membandingkan suatu besaran yang tidak diketahui harganya dengan besaran lain yang telah diketahui nilainya. Definisi pengukuran menurut *Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*–VIM 1993: 2.1 adalah: “serangkaian operasi yang bertujuan untuk menetapkan nilai besaran ukur”. Klasifikasi komponen ketidakpastian dibagi ke dalam tipe A dan tipe B. Ketidakpastian tipe A dapat dievaluasi dengan analisis statistik dari serangkaian pengamatan. Ketidakpastian tipe B dapat dievaluasi dengan cara selain analisis statistik dari serangkaian pengukuran. Namun dari kedua tipe

tersebut tidak selalu mempunyai hubungan langsung dengan klasifikasi komponen ketidakpastian sebagai ketidakpastian acak dan sistematis.

Instrumen adalah alat ukur yang mempunyai sifat kompleks, dimana tersusun atas beberapa komponen yang terdiri dari transduser atau sensor, pengkondisi sinyal (*amplifier*, peredam, dan penyaring), dan unit keluaran (analog atau digital). Sensor dipakai untuk menangkap adanya perubahan sinyal. Pengkondisi sinyal untuk merubah nilai kekuatan sinyal yang ditangkap. Monitor sebagai penunjuk pengukuran atau sinyal yang diperoleh. Instrumen ukur mempunyai 2 karakteristik, yaitu karakteristik statik dan karakteristik dinamik. Karakteristik dinamik merupakan karakteristik alat yang berkaitan dengan input yang selalu berubah, atau input konstan tetapi diamati pada saat transiennya.

- **Karakteristik Statik**

Karakteristik statik merupakan sifat yang berhubungan antara masukan dan keluaran untuk masukan yang tidak berubah menurut waktu dan menggambarkan parameter instrumen dalam keadaan *steady*. Karakteristik statik juga didefinisikan sebagai karakteristik alat ukur dengan *input* konstan yang diberikan dan diamati setelah dicapai keadaan *steady state* (tunak). Karakteristik statik yang umum digunakan seperti akurasi, presisi, span, range, sensitivitas,

Akurasi yaitu kemampuan dari alat ukur untuk memberikan indikasi pendekatan terhadap harga sebenarnya dari obyek yang diukur. Secara umum akurasi sebuah alat ukur ditentukan dengan cara kalibrasi pada kondisi operasi tertentu dan dapat diekspresikan dalam bentuk *plus – minus* atau prosentase dalam skala tertentu atau pada titik pengukuran yang spesifik.

Presisi atau ketepatan merupakan kemampuan sistem pengukuran untuk menampilkan ulang *output* yang sama pada pengukuran berulang. Kedekatan nilai – nilai pengukuran individual yang didistribusikan sekitar nilai rata – ratanya atau penyebaran nilai pengukuran individual dari nilai rata – ratanya.

Presisi juga dapat diartikan sebagai tingkat kesamaan nilai pada sekelompok pengukuran atau sejumlah nilai di mana pengukuran dilakukan secara berulang – ulang dengan instrumen yang sama.

Sensitivitas merupakan perbandingan antara sinyal keluaran terhadap perubahan variabel masukan yang diukur. Sensitivitas atau kepekaan juga diartikan perubahan selisih output dari setiap perubahan selisih input.

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta O}{\Delta I} \quad (2.1)$$

Resolusi adalah besar pernyataan dari kemampuan peralatan untuk membedakan arti dari dua tanda harga atau skala yang palingberdekatan dari besaran yang ditunjukkan. Resolusi juga dapat diartikan sebagai perubahan terkecil pada nilai yang diukur dari respon suatu instrumen.

Error (kesalahan) diartikan sebagai beda aljabar antara nilai yang terbaca dengan nilai sebenarnya dari obyek yang diukur. Perubahan pada reaksi alat ukur dibagi oleh hubungan perubahan aksinya.

Koreksi atau *correction* merupakan suatu harga yang ditambahkan secara aljabar pada hasil dari alat ukur untuk mengkompensasi penambahan kesalahan sistematis.

Range atau jangkauan ukur merupakan besar daerah ukur antara batas ukur bawah dan batas ukur atas. *Range* juga diartikan sebagai selisih nilai maksimum yang dapat diukur oleh alat. *Range input* atau *output* sebuah elemen ditentukan dengan nilai minimum dan nilai maksimum dari *input* atau *output*.

$$\text{Range} = I/O_{\min} - I/O_{\max} \quad (2.2)$$

Span (rentang) variasi maksimum dari *input* ataupun *output*.

$$\text{Rentang input} = I_{\max} - I_{\min} \quad (2.3)$$

$$\text{Rentang output} = O_{\max} - I_{\min} \quad (2.4)$$

Suatu elemen dikatakan linier ketika hubungan nilai *input* dan *output* menampilkan garis lurus. Dimana dalam garis lurus tersebut dihubungkan dari 2 titik, yaitu titik minimum dari selisih *input* minimum dan *output* minimum ($I_{\min} - O_{\min}$) serta titik

maksimum dari selisih *input* maksimum dan *output* maksimum ($I_{\max} - O_{\max}$). Berikut ini persamaan linieritas :

$$O - O_{\min} = \left[\frac{O_{\max} - O_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right] (I - I_{\min}) \quad (2.5)$$

$$O_{ideal} = KI + a \quad (2.6)$$

Dimana :

$$K = \text{Kemiringan garis lurus ideal} = \frac{O_{\max} - O_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$$

a = Koefisien garis lurus ideal

$$= O_{\min} - KI_{\min}$$

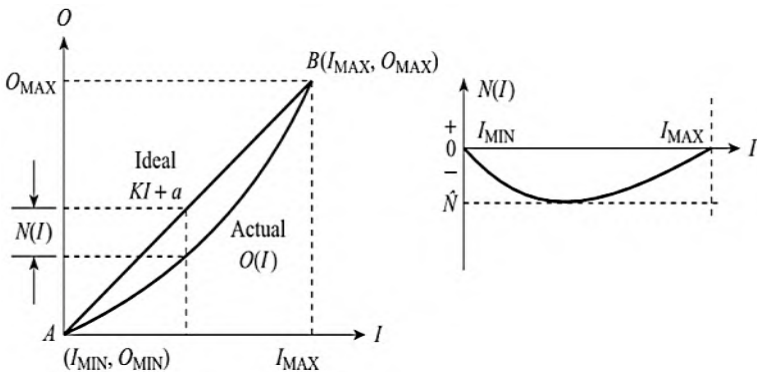
Dalam beberapa keadaan, bahwa dari persamaan linieritas muncul garis yang tidak lurus yang biasa disebut *non-linier* atau tidak linier. Didalam fungsi garis yang tidak linier ini menunjukkan perbedaan antara hasil pembacaan *actual* / nyata dengan garis lurus idealnya. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$N(I) = O(I) - (KI + a) \quad (2.7)$$

$$O(I) = KI + a + N(I) \quad (2.8)$$

Sedangkan untuk persamaan dalam bentuk prosentase dari defleksi skala penuh, sebagai berikut:

$$\% \text{Non Linearitas} = \frac{\hat{N}}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100\% \quad (2.9)$$

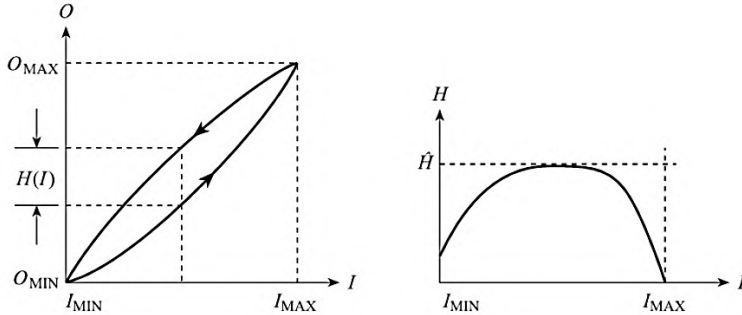


Gambar 2.8 Grafik non-linieritas (Bentley, 2005)

Histerisis merupakan perbedaan tertinggi antara 2 nilai *output* dari pengukuran naik dan turun.

$$H(I) = O(I)_{I\downarrow} - O(I)_{I\uparrow} \quad (2.10)$$

$$\% \text{ Maksimum Hysteresis} = \frac{\hat{H}}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100\% \quad (2.11)$$



Gambar 2.9 Grafik histeresis (Bentley, 2005)

• Karakteristik Dinamik

Karakteristik dinamik dari elemen atau instrumen pengukuran menjelaskan perilaku antara waktu yang diukur dengan waktu ketika *output* instrumen mencapai nilai mantap responnya. Karakteristik dinamik menyatakan respon sistem ketika transien pada *input* konstan serta pada saat *input* berubah terhadap waktu. Karakteristik orde dalam instrument ada 4 macam, yaitu :

- Insrumen Orde Nol, instrumen yang memiliki karakter dari sensitivitasnya, (K) (Perbandingan *output* dan *input*).
- Instrumen Orde Satu, instrumen yang memiliki karakter dari sensitivitasnya (K) dan Konstanta waktu (τ).
- Instrumen Orde Dua, instrumen yang memiliki karakter dari sensitivitasnya (K) dan 2 macam konstanta waktu (τ_1 dan τ_2).
- Instrumen Orde Tinggi, instrumen yang memiliki karakter seperti instrumen orde nol, orde satu, atau orde dua namun ditambah dengan waktu mati (Handoko, 2010).

2.8.2. Teori Ketidakpastian Pengukuran

Ketidakpastian adalah suatu ukuran kuantitatif mutu dari sebuah hasil pengukuran, sehingga hasil pengukuran tersebut dapat diperbandingkan dengan hasil – hasil pengukuran lain, acuan, spesifikasi atau standar. ^[5] Ketidakpastian pengukuran diklasifikasikan menjadi 2 yaitu ketidakpastian tipe A dan ketidakpastian tipe B.

• Tipe A

Pada ketidakpastian tipe A, nilai ketidakpastian dilihat dari analisis pengukuran statistik (*ISO GUM B 2.15; VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23). Di dalam tipe ini dilakukan pengukuran hingga n kali, dimana dari pengukuran tersebut akan mendapatkan nilai rata-rata, standar deviasi, dan data keterulangan. Dimana rumus umum ketidakpastian tipe A sebagai berikut :

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ (Ketidakpastian hasil pengukuran)} \quad (2.9)$$

Dimana :

σ = Standart deviasi koreksi

n = Jumlah data

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \quad (2.10)$$

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \quad (2.11)$$

Dimana :

U_{a2} = Ketidakpastian regresi

SSR (*Sum Square Residual*) = $\sum SR$ (*Square Residual*)

$SR = R^2$ (*Residu*)

$$Y_i \text{ (Nilai koreksi)} = t_i - x_i \quad (2.12)$$

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i) \quad (2.13)$$

$$a = \bar{y}_l + (b \times \bar{t}_l) \quad (2.14)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}; \quad (2.15)$$

Dimana :

t_i = Pembacaan standar

x_i = Pembacaan alat

y_i = Nilai koreksi

• Tipe B

Pada ketidakpastian tipe B, nilai ketidakpastian yang tidak dilihat dari analisis pengukuran statistik (*ISO GUM B 2.15; VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23). Berikut merupakan rumus umum dari ketidakpastian tipe B :

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2}x_{Resolusi}}{\sqrt{3}} \quad (2.15)$$

$$U_{B2} = \frac{a}{k} \quad (2.16)$$

Dimana :

U_{B1} = Nilai ketidakpastian resolusi

U_{B2} = Nilai ketidakpastian dari alat standar/kalibrator

• Ketidakpastian Baku Gabungan (Kombinasi)

Ketidakpastian baku gabungan digunakan untuk mewakili nilai estimasi standar deviasi dari hasil pengukuran. Berikut merupakan rumus umum ketidakpastian baku gabungan :

$$U_c = \sqrt{U_{a1}^2 + U_{a2}^2 + U_{b1}^2 + U_{b2}^2} \quad (2.17)$$

• Derajat Kebebasan Efektif

Derajat kebebasan efektif ini berfungsi sebagai pemilihan faktor pengali untuk distribusi *Student's T* serta sebagai penunjuk perkiraan kehandalan ketidakpastian (*ISO GUM B 2.15; VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23). Derajat kebebasan disimbolkan dengan v , dengan rumus sebagai berikut :

$$V = n-1 \quad (2.18)$$

Dimana :

n = Jumlah data

Derajat kebebasan efektif merupakan estimasi dari derajat kebebasan ketidakpastian baku gabungan yang dirumuskan sebagai berikut (rumus *Welch-Setterthwaite*):

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / v_i} \quad (2.19)$$

Dimana :

V_{eff} = Derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian kombinasi

v_i = Derajat kebebasan dari komponen ketidakpastian ke-i

U_i = Hasil ketidakpastian tipe A dan B

Dari nilai derajat kebebasan efektif, maka dapat dihitung nilai faktor cakupan sesuai dengan tingkat kepercayaan yang diinginkan, dimana faktor cakupan (k) didapat dari tabel *T-students*.

- **Ketidakpastian Diperluas, U_{exp}**

Ketidakpastian diperluas merupakan akhir nilai ketidakpastian dengan tingkat kepercayaan. Tingkat kepercayaan tingkat keyakinan mengenai daerah nilai sebenarnya pada suatu pengukuran (LPF, 2013).

$$U_{exp} = k \times U_c \quad (2.20)$$

Dimana :

k = Faktor cakupan

U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

Halaman ini memang dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1. Gambaran *Plant Heat Exchanger*

Gambaran *plant heat exchanger* tipe *shell* dan *tube* ditunjukkan pada gambar 3.1 dan gambar 3.2.



Gambar 3.1. *Shell Heat Exchanger* dan Posisi Sensor Pada *Tube Outlet*



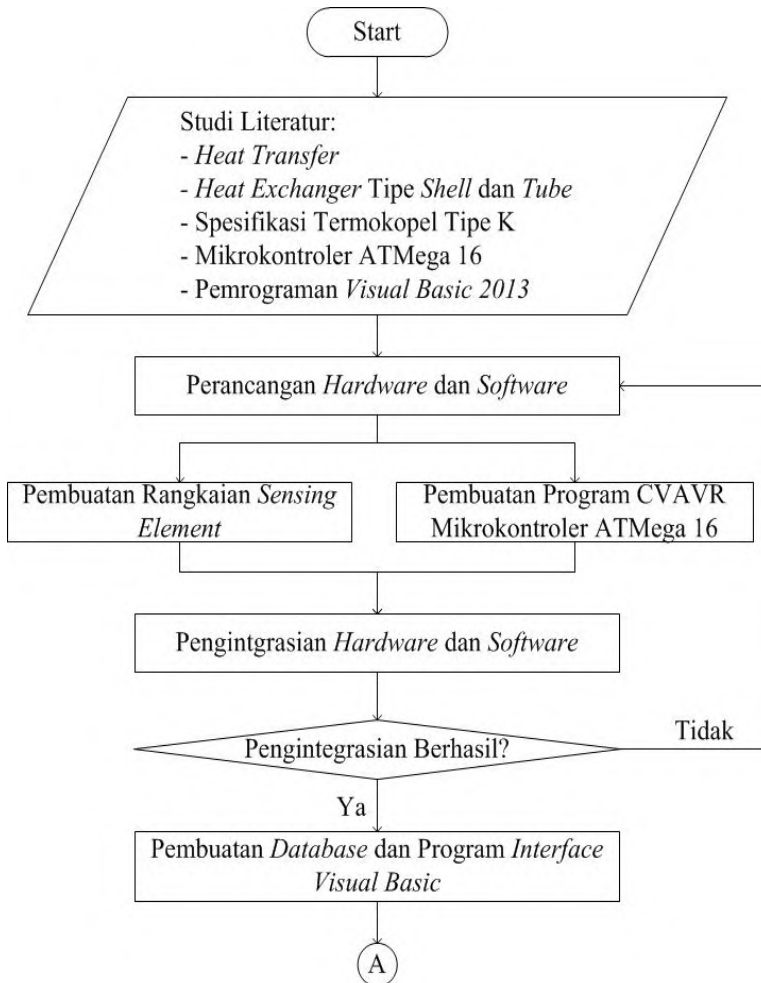
Gambar 3.2. *Tube Heat Exchanger*

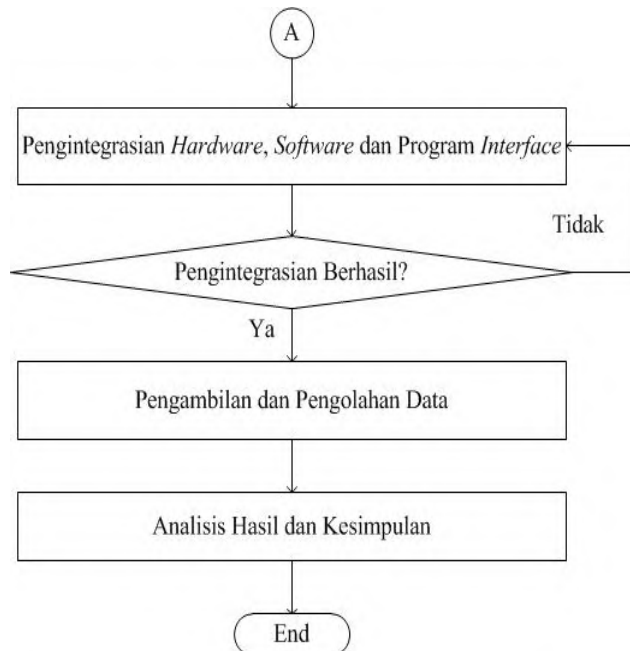
Tabel 3.1. Spesifikasi *Shell* dan *Tube Heat Exchanger*

Spesifikasi	Ukuran
Diameter <i>Tube</i>	2,54 cm
Panjang <i>Tube</i>	45 cm
Jumlah <i>Pass Tube</i>	3 pass
Diameter <i>Shell</i>	50 cm
Panjang <i>Shell</i>	19 cm
<i>Spesific gravity</i> air	1

3.2. Diagram Alir Perancangan dan Pembuatan Alat

Secara umum, tahapan perancangan Tugas Akhir *monitoring temperatur heat exchanger* pada bagian *shell* dan *tube* ini ditunjukkan pada *flowchart* gambar 3.1 berikut:





Gambar 3.3. *Flowchart* Perancangan Tugas Akhir

3.3. Keterangan *Flowchart*

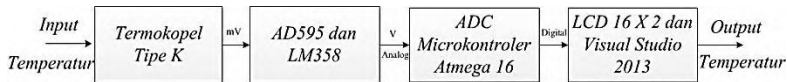
3.3.1. Studi Literatur

Literatur – literatur yang dipelajari untuk mendukung perancangan Tugas Akhir ini meliputi teori *heat transfer*, *heat exchanger*, spesifikasi dan karakteristik alat ukur temperatur yang dalam hal ini berupa termokopel tipe K, rangkaian pengkondisian sinyal, pemrograman mikrokontroler dan *visual basic*. Dalam studi yang dilakukan, fokus materi yang dipelajari dalam perancangan alat ini adalah terpaku pada karakteristik *heat exchanger* tipe *shell* dan *tube*, mikrokontroler ATmega 16 dan pemrograman Microsoft Visual Studio 2013.

3.3.2. Perancangan *Hardware* dan *Software*

Pada perancangan dan pembuatan *hardware* serta *software* terdapat beberapa tahap, meliputi pembuatan rangkaian *sensing*

elemen untuk dua sensor, rangkaian LCD (*Liquid Crystal Display*) dengan karakter berukuran 16x2 dan pemrograman Mikrokontroler ATmega 16 pada *Code Vision AVR* (CVAVR). Pada perancangan sistem monitoring temperatur ini terdapat diagram blok pengukuran sebagai berikut:



Gambar 3.4 Diagram Blok Pengukuran Temperatur

Diagram blok pada gambar 3.4 menjelaskan mengenai alur pengukuran yang dilakukan oleh sensor termokopel, mulai dari input yang berupa temperatur yang dibaca oleh sensor termokopel hingga dapat ditransmisikan ke *Personal Computer* (PC). Sinyal keluaran dari sensor termokopel berupa sinyal analog tegangan (mV), karena sinyal keluaran sensor termokopel yang sangat kecil sehingga ditambahkan rangkaian pengkondisian sinyal dan *amplifier* dengan menggunakan IC AD595 dan IC MAX358 sehingga , selanjutnya sinyal yang telah dikuatkan akan diproses pada *signal processing element* di mana pada proses ini dilakukan konversi dari sinyal analog ke sinyal digital (ADC) pada Mikrokontroler ATmega 16 agar dapat diterjemahkan oleh *display*, dan data hasil pengukuran akan ditampilkan oleh *data presentation element* dalam hal ini *data presentation element* berupa LCD (*Liquid Crystal Display*). Selanjutnya data hasil pengukuran yang telah dikonversikan pada *signal processing element* dikirim ke PC melalui komunikasi serial dengan menggunakan kabel serial RS232, di mana di dalam port serial tersebut terdapat IC MAX232 yang berfungsi untuk mentransmisikan data dari mikrokontroler ke PC. Data yang dikirim oleh mikrokontroler berupa data *string* yang selanjutnya akan di proses pada software *interfacing Microsoft Visual Studio 2013* untuk disimpan pada database MySQL.

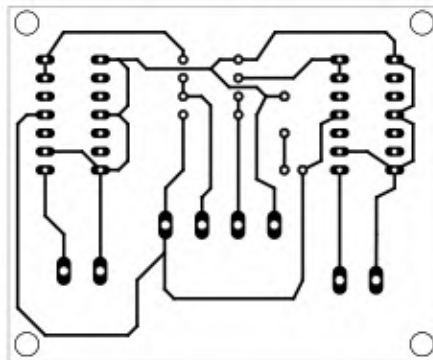
3.3.3. Pembuatan Rangkaian Sensing Element

Pada rangkaian *sensing elemen* tersusun atas 2 buah sensor Termokopel dengan 2 buah IC AD595, 1 buah IC MAX358,

resistor dan LED seperti ditunjukkan pada gambar 3.5. Termokopel tidak bisa terhubung langsung ke dalam instrumen yang melakukan *record*, monitor, atau proses karena sinyal tegangan yang dikeluarkan terlalu lemah yakni $40,8 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ sesuai dengan yang dikeluarkan oleh *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, termokopel tipe K memiliki keluaran antara -5,9 sampai 50,6 mV. Karena sinyal yang dikeluarkan sangat kecil maka sinyal elektrik dari sensor memerlukan pengkondisian sinyal terlebih dahulu sebelum masuk pada kontroler, dalam hal ini untuk mengkondisikan sinyal dari termokopel digunakan IC AD595 dan LM358.

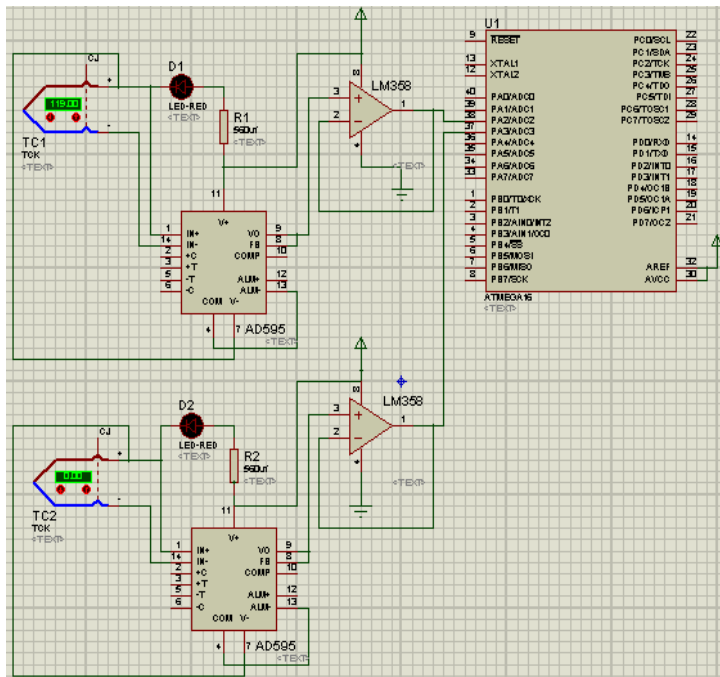


Gambar 3.5 Rangkaian *Sensing Element*



Gambar 3.6 Skematik Rangkaian *Sensing Element*

Kedua sensor tersebut dipasang pada bagian *shell* dan *tube output*, dimana tujuannya untuk memantau besar temperatur fluida yang keluar pada *shell* dan *tube heat exchanger* untuk dapat melakukan perpindahan panas sesuai *set point* yang diberikan pada bagian *tube*.

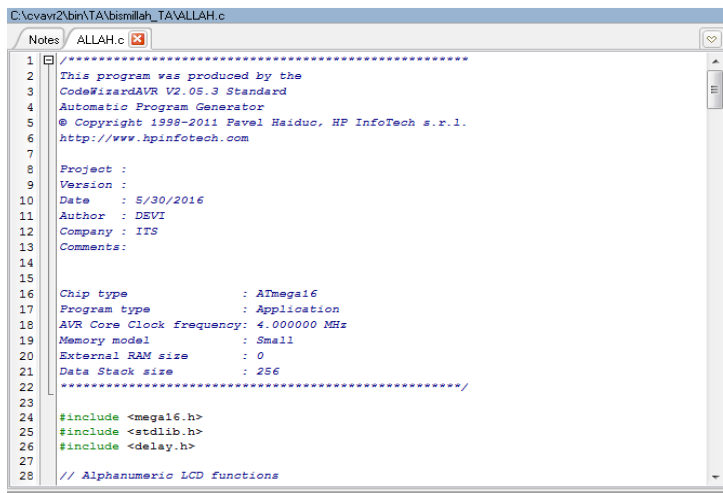


Gambar 3. 7 Rangkaian Hardware

3.3.4. Pembuatan Program CVAVR (Code Vision Advance Virtual RISC) Mikrokontroler ATmega 16

Pada *software* pemrograman CVAVR dilakukan pemrograman LCD, ADC dan USART (komunikasi serial). Kemudian rangkaian *sensing element* dan pemrograman CVAVR diintegrasikan dengan men- *download* program CVAVR ke mikrokontroler ATmega 16. Pada tahap ini merupakan gabungan dari siklus pemrosesan sinyal dimana pada program CVAVR diberikan *listing program* untuk mengolah sinyal masukan dari

kedua *sensing element*. Sinyal masukan dari *sensing element* berupa sinyal analog sehingga diperlukan konversi sinyal analog menjadi sinyal digital (*Analog To Digital Converter*), dimana 10 mV setara dengan 1 °C. Pada program ini diberikan resolusi 10 bit dengan Vref sebesar 5 Volt sehingga konversi untuk ADC dibagi 2,046 bit/°C.



```

C:\cvavr2\bin\TA\bismillah_TA\ALLAH.c
Notes  ALLAH.c
1  //*****
2  This program was produced by the
3  CodeWizardAVR V2.05.3 Standard
4  Automatic Program Generator
5  © Copyright 1998-2011 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
6  http://www.hpinfotech.com
7
8  Project :
9  Version :
10 Date   : 5/30/2016
11 Author : DEVI
12 Company : ITS
13 Comments:
14
15
16 Chip type       : ATmega16
17 Program type    : Application
18 AVR Core Clock frequency: 4.000000 MHz
19 Memory model    : Small
20 External RAM size : 0
21 Data Stack size : 256
22 //*****
23
24 #include <mega16.h>
25 #include <stdlib.h>
26 #include <delay.h>
27
28 // Alphanumeric LCD functions

```

Gambar 3.8 Tampilan Program Pada CVAVR

3.3.5. Pengintegrasian *Hardware* dengan *Software*

Pada tahap ini dilakukan proses *download* program CVAVR ke *minimum system* ATmega 16 dengan *software* Khazama AVR *programmer*, kemudian *minimum system* yang telah berisi program dihubungkan dengan rangkaian *sensing element* dan rangkaian modul LCD.

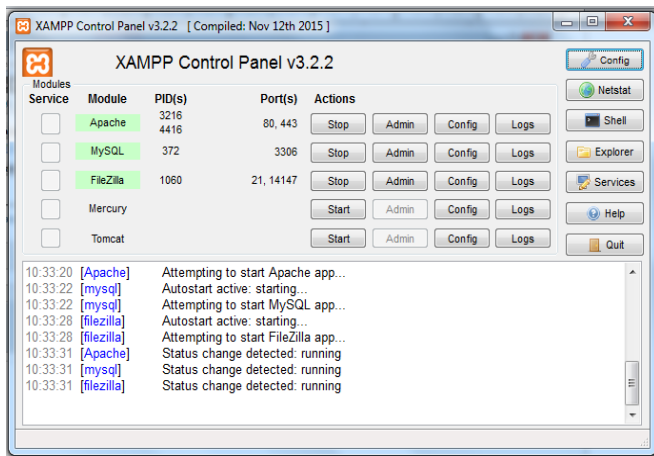
3.3.6. Pengujian *Hardware* dan *Software*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan *download* program yang sesuai dengan logika yang diberikan. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran dengan rangkaian *sensing element* hingga dapat menampilkan data pada

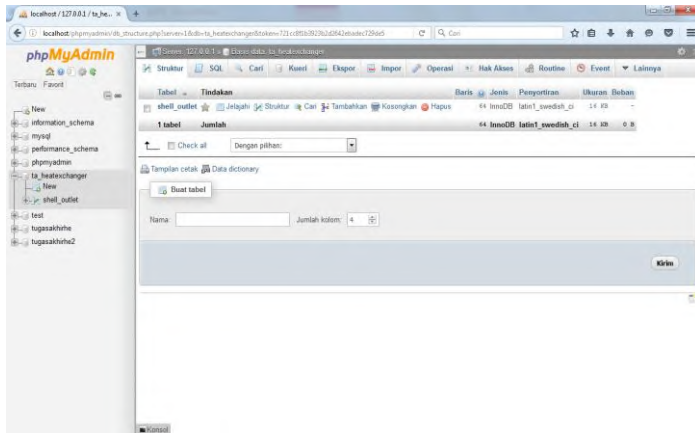
LCD. Apabila terjadi kesalahan maka dilakukan pengecekan *hardware* dan pemrograman *software*.

3.3.7. Pembuatan *Database* dan Program *Interface Visual Basic*

Setelah mengintegrasikan dan pengujian *hardware* dan *software*, selanjutnya dilakukan pembuatan tampilan data monitoring pada *Personal Computer* (PC) dan penyimpanan data secara *real time*. *Software* yang digunakan untuk memberikan *interface* pada sistem monitoring ini adalah visual studio 2013 dan *database* php MySQL. Database berfungsi sebagai media penyimpanan data dari hasil pengukuran sensor. Dengan *software* pendukung XAMPP Control Panel v3.2.2 sebagai penghubung antara portal data Visual Studio 2013 dengan *database* MySQL server localhost pada PC.



Gambar 3.9 Tampilan *Software* XAMPP Control Panel

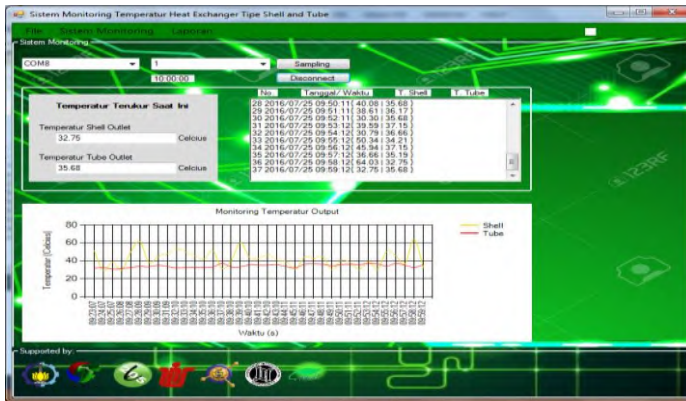


Gambar 3.10 Tampilan *Database* MySQL

Pada dasarnya, visual studio ini digunakan untuk membuat *software* akuisisi data untuk sistem *monitoring* temperatur. Program yang dibuat pada Microsoft Visual Studio 2013 menggunakan bahasa *visual basic*. *Interface* yang dibuat dilengkapi dengan menu *login*, *record* proses *monitoring*, dan hasil *record* data dimana data *monitoring* nantinya dapat ditampilkan dan dilaporkan. Tampilan *interfacing* pada visual studio ditunjukkan pada gambar 3.11 dan gambar 3.12.



Gambar 3.11 Tampilan awal *interface* pada *Visual Studio*



Gambar 3.12 Tampilan Saat *Record Data* pada Visual Studio

3.3.8. Pengintegrasian *Hardware, Software* dan *Program Interface*

Pada tahap ini dilakukan pengintegrasian *hardware* dengan *software* yang terprogram USART *transmit* data serta program *interface* visual studio 2013. Proses integrasi ini dilakukan dengan menghubungkan *minimum system* yang tersambung dengan kabel konektor RJ11 dan serial RS232 dengan PC melalui COM USB.2 Serial. Pengintegrasian ini dikatakan berhasil apabila COM dari port serial dapat dibaca oleh PC dan data *monitoring* dapat disimpan dalam *database MySQL*.

3.3.9. Pengujian Program *Interface*

Pada tahap ini *hardware, software* dan PC saling terhubung melalui port serial. Pengujian dilakukan dengan melakukan *build program* atau *start program* Visual Studio. Apabila sudah tidak ada *error* maka program *interface* dapat dikatakan berhasil. Sebaliknya jika terdapat kesalahan maka program harus dilakukan pengecekan baik itu pada *software Visual Studio* maupun pada *database MySQL*.

3.3.10. Pengambilan dan Pengolahan Data

Pengambilan data dilakukan dengan menghubungkan rangkaian *sensing element* yang telah diintegrasikan pada *plant*

heat exchanger dengan PC yang sudah terprogram Visual Studio untuk *interface* dan *record* data. Data yang telah di- *record* secara *real time* selanjutnya akan diolah untuk mengetahui kinerja sensor dan kinerja *heat exchanger* yang telah dibuat.

3.3.11. Analisis Data dan Kesimpulan

Hasil pengolahan data selanjutnya akan dianalisis untuk mengetahui parameter keberhasilan perancangan *plant heat exchanger*. Dimana parameter keberhasilan dari Tugas Akhir ini adalah pada kemampuan sistem melakukan perpindahan panas yang ter- *monitoring* secara *real time*.

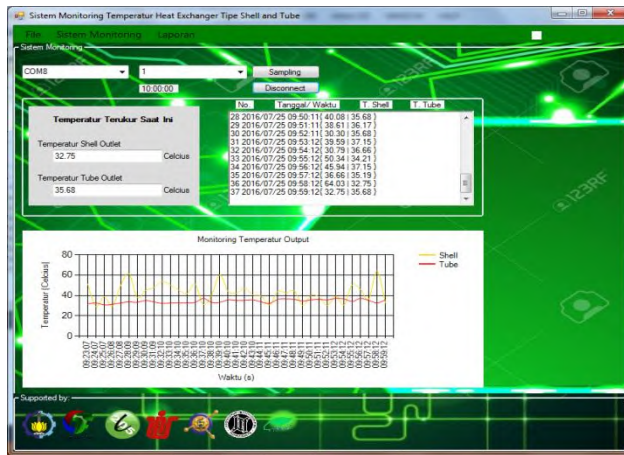
Halaman ini memang dikosongkan

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Data

4.1.1. Hasil Rancang Bangun

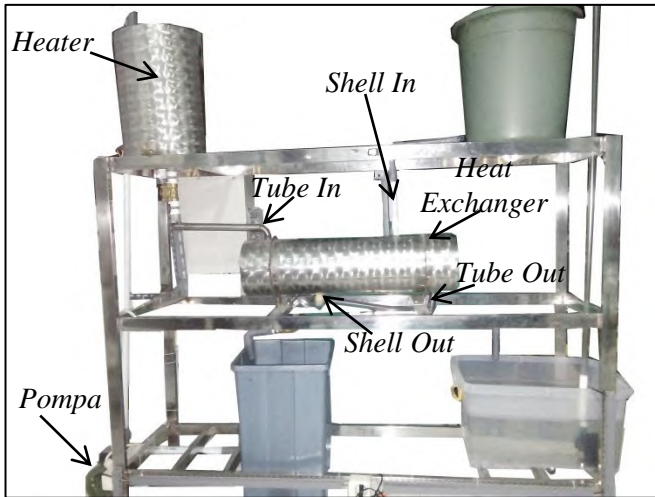
Hasil perancangan sistem *monitoring* temperatur pada *shell* dan *tube outlet heat exchanger* secara *real time* berbasis *Microsoft Visual Studio 2013* ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1. *Interface Program Monitoring*

Pada sistem *monitoring* ini dilengkapi dengan *form login*, *form monitoring*, dan *form reporting*. *Form login* berfungsi sebagai *form* awal untuk melindungi sistem *monitoring* dari *hacker* (bukan *user*) sehingga hanya pengguna yang mempunyai *username* dan *password* saja yang dapat mengakses sistem ini. Selanjutnya pada *form monitoring*, menampilkan hasil *monitoring* dari sistem yang kemudian di *plot* pada tampilan grafik. Pada *form reporting* akan ditampilkan data hasil *monitoring* yang sebelumnya tersimpan pada *database*.

Gambar 4.2 merupakan tampilan keseluruhan dari *plant heat exchanger* tipe *shell* dan *tube*. Fluida yang digunakan pada *plant* ini adalah fluida air baik pada sisi *shell* maupun *tube*.



Gambar 4.2. Bentuk Fisik Plant Heat Exchanger

4.1.2. Pengujian Alat Ukur dan Kalibrasi

Pengujian temperatur pada sensor *thermocouple* tipe K dilakukan pada range 30°C - 90°C dengan menggunakan pembanding alat ukur standar termometer digital dan *thermocouple* tipe K (*Chromel-Alumel*) merk APPA51, - 50°C – 1300°C dimana dilakukan pengukuran sebanyak 5 kali pengulangan, pada kenaikan tiap 5 °C. Data pengukuran dapat dilihat pada tabel A.1 (Lampiran). Berdasarkan tabel A.1 dapat diketahui jumlah rata – rata pembacaan alat (Σx) sebesar 783,85°C, Sedangkan untuk jumlah koreksi (Σy) sebesar -3,85°C dan rata - rata koreksi (\bar{y}) sebesar -0,30°C.

Berikut merupakan perhitungan ketidakpastian alat ukur berdasarkan data pengukuran pada tabel A.1 (Lampiran).

- Nilai Ketidakpastian Tipe A

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \quad (4.1)$$

Dengan rumus 4.1 maka dapat diperoleh nilai standar deviasi (σ) sebesar 0,1976. Maka nilai ketidakpastian pengukuran U_{a1} dapat dihitung dengan rumus 4.2 berikut:

$$\begin{aligned}
 U_{a1} &= \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\
 U_{a1} &= \frac{0,1976}{\sqrt{13}} \\
 U_{a1} &= 0,057032
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Tabel 4.1 Perhitungan Kalibrasi Sensor Bagian *Tube*

No.	x^2	$x_i y_i$	$(\bar{x} - x_i)^2$	Y_{reg}	R^2
1	894,49	2,75	923,42	-0,27	0,07
2	1170,19	27,09	680,58	-0,28	0,08
3	1622,16	-11,12	400,79	-0,28	0,08
4	2109,75	-42,81	206,32	-0,28	0,08
5	2633,74	-67,74	80,57	-0,29	0,08
6	3104,72	-40,12	20,94	-0,29	0,09
7	3683,76	-42,12	0,16	-0,30	0,09
8	4314,65	-45,06	29,05	-0,30	0,09
9	4994,81	-47,63	107,71	-0,30	0,09
10	5578,30	23,30	207,13	-0,31	0,09
11	6347,31	26,29	375,36	-0,31	0,10
12	7248,82	-11,92	617,23	-0,32	0,10
13	8087,40	6,30	878,18	-0,32	0,10
Jumlah	43702,69	-229,08	4527,44	SSR	1,14
Rata - rata	3641,89	-19,09	348,26		

Dengan bantuan tabel 4.1, selanjutnya dicari nilai ketidakpastian regresi U_{a2} dengan mencari nilai a, b, dan SSR.

$$b = \frac{n \sum x_i y_i + \sum x_i \sum y_i}{n(\sum x_i^2) + (\sum x_i)^2} \tag{4.3}$$

$$b = \frac{(13 \times (-229,08)) + ((-229,08) \times (-3,85))}{13 \times (43702,69) + (783,85)^2}$$

$$b = -0,00079$$

$$a = Y - bx \quad (4.4)$$

$$a = -0,30 - ((-0,00079) \times (60))$$

$$a = -0,24842$$

$$SSR = \sum (y_i - a - bx_i)^2 \quad (4.5)$$

$$SSR = 4,67855$$

Dimana :

SSR (*Sum Square Residual*) = $\sum SR$ (*Square Residual*)

$SR = R^2$ (*Residu*)

Sehingga diperoleh nilai U_{a2} sebagai berikut:

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n}} \quad (4.6)$$

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{4,67855}{13}}$$

$$U_{a2} = 0,59991$$

- Nilai Ketidakpastian Tipe B

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian resolusi (Ub_1) dan ketidakpastian alat standar (Ub_1). Berikut ini adalah perhitungan ketidakpastian tipe B :

$$Ub_1 = \frac{0,5 \text{ Resolusi}}{\sqrt{3}} \quad (4.7)$$

$$Ub_1 = \frac{0,5 (0,01)}{\sqrt{3}}$$

$$Ub_1 = 0,00289$$

Karena pada alat standar terdapat sertifikat kalibrasinya maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan dianggap 2,0. Sehingga nilai Ub_2 menjadi:

$$Ub_2 = \frac{a}{k} = 0 \quad (4.8)$$

- Nilai ketidakpastian kombinasi U_c

$$U_c = \sqrt{[\sum_{i=1}^N c_i u(x_i)]^2} \quad (4.9)$$

$$U_c = \sqrt{0,057032^2 + 0,59991^2 + 0,00289^2 + 0}$$

$$U_c = 0,05710$$

- Derajat Kebebasan

Dengan nilai $v_i = n - 1$ maka $v_1 = 12$; $v_2 = 12$; $v_3 = \infty$; $v_4 = 60$ (dari tabel *T-Student*). Sehingga nilai derajat kebebasan dapat dihitung dengan rumus 4.8.

$$V_{eff} = \frac{U_c^4}{\sum_1^n \frac{U_i^4(y)}{v_i}} \quad (4.10)$$

$$V_{eff} = \frac{0,62267^4}{\sum_1^{13} \left[\frac{0,057032^4}{12} + \frac{0,59991^4}{12} + \frac{0,00289^4}{\infty} + \frac{0^4}{60} \right]}$$

$$V_{eff} = 12,06157$$

- Faktor Cakupan (k)

Faktor Cakupan (k) dapat dicari melalui table *T-student*. Dengan nilai V_{eff} sebesar 12,06157 maka dilakukan perhitungan dengan pendekatan interpolasi, sehingga nilai faktor cakupan dapat dicari dengan rumus berikut:

$$\frac{V_{eff} - V_1}{V_2 - V_1} = \frac{k - k_1}{k_2 - k_1} \quad (4.11)$$

$$\frac{12,06157 - 12}{13 - 12} = \frac{k - 2,18}{2,16 - 2,18}$$

$$k = 2,17877$$

- Ketidakpastian Diperluas

$$U_{exp} = U_c \cdot k \quad (4.12)$$

$$U_{exp} = 0,05710 \times 2,17877$$

$$U_{exp} = 0,124418$$

$$\%U_{exp} = 12,4418 \%$$

Dengan hasil perhitungan nilai ketidakpastian diperluas sebesar $\pm 0,124418$. Nilai ini digunakan sebagai acuan nilai ketidakpastian pembacaan alat dengan tingkat kepercayaan 95% berdasarkan tabel *T-Student*.

Berdasarkan data yang telah didapatkan dari pengujian spesifikasi alat melalui data karakteristik statik, menghasilkan data sebagai berikut :

- Range : 30°C – 90°C
- Span : 60 °C
- Resolusi : 0,01
- Sensitivitas

$$\text{Sensitivitas (K)} = \frac{\Delta O}{\Delta I} \quad (4.13)$$

$$K = \frac{89,93 - 29,91}{90 - 30} = 1,000367$$

- Non- Linearitas

$$\text{Non- Linearitas (N(I))} = O(I) - (KI + a)$$

*(berdasarkan data naik)

$$\text{Non - Linearitas} = \frac{N}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100\% \quad (4.14)$$

Di mana:

$$a (\text{zero bias}) = O_{\min} - KI_{\min}$$

$$a (\text{zero bias}) = 29,91 - (1,000367 \times 30)$$

$$a (\text{zero bias}) = - 0,10101$$

Sehingga nilai non- linearitas maksimum per unit sebagai berikut:

$$\text{non - linearitas} = \frac{1,000367}{89,93 - 29,91} \times 100\% = 0,016667 \%$$

- Akurasi

$$\text{Akurasi} = 1 - \frac{\text{Rata-rata pembacaan standar-alat}}{\text{Rata-rata pembacaan standar}} \quad (4.15)$$

$$\text{Akurasi} = 1 - \frac{60 - 60,30}{60} = 1,004931$$

$$\% \text{Akurasi} = 100 - (1,004931 \times 100\%) = 98,99 \%$$

- Linearitas

$$O_{\text{ideal}} = KI + a \quad (4.16)$$

$$O_{ideal} = KI + (O_{min} - KI_{min})$$

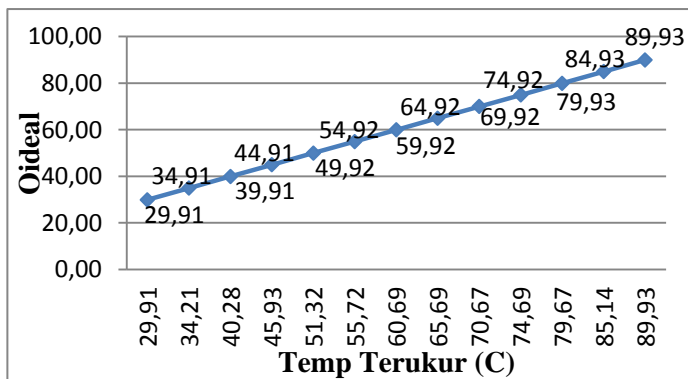
Dimana: $O_{min} = 29,91$

$O_{max} = 91,81$

$I_{min} = 30$

Tabel 4.2 Perhitungan O_{ideal} Sensor Bagian Tube

Sensor Bagian Tube	
O_{ideal} (1)	29,91
O_{ideal} (2)	34,91
O_{ideal} (3)	39,91
O_{ideal} (4)	44,91
O_{ideal} (5)	49,92
O_{ideal} (6)	54,92
O_{ideal} (7)	59,92
O_{ideal} (8)	64,92
O_{ideal} (9)	69,92
O_{ideal} (10)	74,92
O_{ideal} (11)	79,93
O_{ideal} (12)	84,93
O_{ideal} (13)	89,93



Gambar 4.3 Linearitas Sensor Bagian Tube

Berdasarkan gambar 4.3 dapat diketahui bahwa nilai *input* pengukuran (nilai sesungguhnya/ standar) berbanding lurus dengan nilai *output* pengukuran (nilai yang ditunjukkan oleh alat) sehingga pengukuran yang telah dilakukan dapat dikatakan sebagai pengukuran yang ideal, dengan kata lain sensor yang digunakan dinyatakan memiliki nilai yang linear terhadap alat ukur standar.

- Histerisis :

$$H(I) = O(I)_{I\uparrow} - O(I)_{I\downarrow} \quad (4.17)$$

Tabel 4.3 Perhitungan Histerisis Sensor Bagian *Tube*

O naik	O turun	O max	O min	H
29,91	29,91	91,81	29,91	0,00
34,21	35,29			0,02
40,28	40,27			0,00
45,93	44,58			-0,02
51,32	50,34			-0,02
55,72	55,23			-0,01
60,69	61,35			0,01
65,69	65,68			0,00
70,67	71,16			0,01
74,69	76,45			0,03
79,67	81,43			0,03
85,14	86,71			0,03
89,93	91,81			0,03

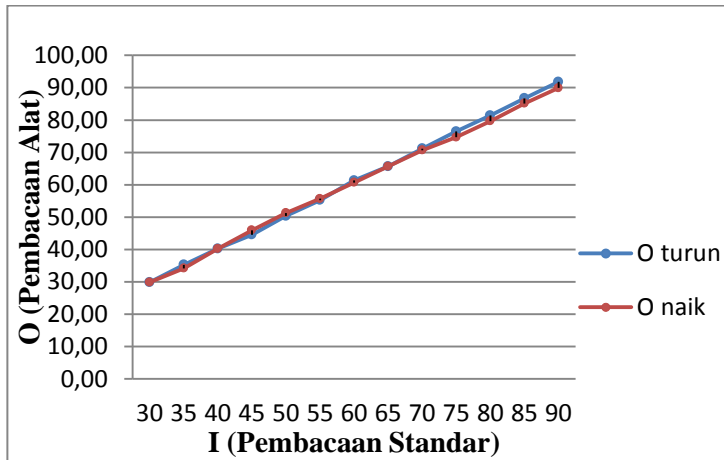
Dari perhitungan histerisis pada tabel 4.3 dapat diperoleh nilai persentase maksimum histerisis sebagai berikut:

$$\hat{H} = H(I)_{max} \quad (4.18)$$

$$\%H = \frac{\hat{H}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\%$$

$$\%H = \frac{0,03}{91,81 - 29,91} \times 100\%$$

$$\%H = 0,000491\%$$



Gambar 4.4 Histerisis Sensor Bagian *Tube*

Dari gambar 4.4 dapat diketahui bahwa besarnya perbedaan (kesalahan) pengukuran ketika dilakukan pembacaan naik dengan ketika dilakukan pembacaan secara turun sebesar 0,000491%, sehingga bisa dikatakan bahwa sensor bekerja dengan stabil untuk pengukuran naik ataupun pengukuran turun.

- *Error*

$$e = 1 - A$$

$$(4.19)$$

$$e = 1 - 1,004931$$

$$e = 0,004931$$

Seperti pengujian alat pada sensor bagian *tube*, maka data hasil pengujian alat pada sensor bagian *shell* ditunjukkan pada

tabel A.2 (Lampiran) dengan nilai standar deviasi sebesar 0,72. Berdasarkan data dari tabel A.2 (Lampiran) maka diperoleh nilai ketidakpastian seperti ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Nilai Ketidakpastian Pengukuran Bagian *Shell*

Parameter Ketidakpastian	Nilai Perhitungan			
Ketidakpastian hasil pengukuran (U_{a1})	0,199666			
Ketidakpstian alat standar (U_{a2})	b=	-0,01835	SSR=3,533962	
	a=	0,110926		
	U_{a2} =	0,521386		
ketidakpastian alat standar (U_{b1})	0,002887			
Ketidakpastian resolusi (U_{b2})	0	belum pernah dikalibrasi		
Ketidakpastian Gabungan (U_c)	0,558317			
Derajat Kebebasan Efektif (V_{eff})	15,44637			
Faktor Cakupan (k)	Berdasarkan Tabel <i>T- Student</i>			
	k_1	2,131	v_1	15
	k_2	2,120	v_2	16
	k			2,12491
Ketidakpastian diperluas (U_{exp})	1,186374			

Tabel 4.5 Perhitungan Kalibrasi Sensor Bagian *Shell*

No.	x^2	$x_i y_i$	$(\bar{x} - x_i)^2$	Y_{reg}	R^2
1	930,01	-15,13	888,03	-0,27	0,07
2	1245,24	-10,16	625,39	-0,28	0,08
3	1529,59	34,81	448,84	-0,28	0,08
4	2128,35	-52,32	200,56	-0,28	0,08
5	2603,65	-52,35	85,93	-0,29	0,08
6	3203,33	-90,44	13,67	-0,29	0,09
7	3768,00	-84,96	1,18	-0,30	0,09
8	4379,26	-77,82	34,58	-0,30	0,09
9	5078,27	-89,93	120,26	-0,30	0,09
10	5784,21	-80,16	248,32	-0,31	0,10
11	6535,43	-68,07	422,14	-0,31	0,10
12	7483,98	-130,63	687,18	-0,32	0,10
13	8461,79	-182,87	1004,39	-0,32	0,10
Jumlah	44669,32	-717,16	4780,48	SSR	1,15
Rata2	3722,44	-59,76	367,73		

Berdasarkan perhitungan data hasil pengukuran temperatur pada sensor 2, maka dapat diperoleh nilai karakteristik statik dari alat ukur temperatur sebagai berikut:

- Sensitifitas : 1,024867
- Akurasi : 1,016497
- % Akurasi : 98,9835 %
- Linearitas

Dengan diketahui nilai – nilai variabel berikut:

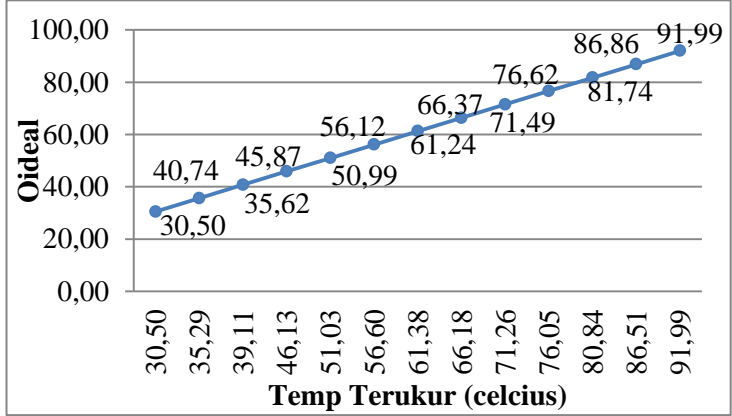
$$\begin{array}{ll}
 O_{\max} &= 91,988 & I_{\min} &= 30 \\
 O_{\min} &= 30,496 & K &= 1,024867 \\
 I_{\max} &= 90 & a &= -025
 \end{array}$$

Maka diperoleh nilai O_{ideal} seperti pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan O_{ideal} Sensor Bagian *Shell*

Sensor Bagian <i>Shell</i>	
Oideal (1)	30,50
Oideal (2)	35,62
Oideal (3)	40,74
Oideal (4)	45,87
Oideal (5)	50,99
Oideal (6)	56,12
Oideal (7)	61,24
Oideal (8)	66,37
Oideal (9)	71,49
Oideal (10)	76,62
Oideal (11)	81,74
Oideal (12)	86,86
Oideal (13)	91,99

Berdasarkan nilai dari O_{ideal} , maka dapat ditarik garis pada gambar 4.5 berikut :



Gambar 4.5 Linearitas Sensor Bagian *Shell*

Berdasarkan gambar 4.5 pengukuran dapat dikatakan ideal dengan nilai *input* berbanding lurus *output* pengukuran.

4.1.3. Pengujian Alat Ukur Pada *Heat Exchanger*

Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data dengan *time sampling* 1 dan 2 menit. Adapun data hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.5 dan 4.6 berikut:

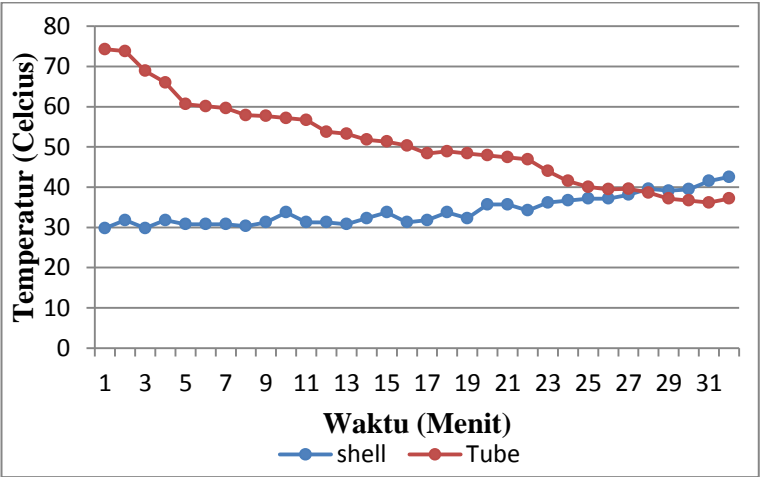
Tabel 4.7. Sistem *Monitoring* Temperatur *Heat Exchanger Shell* dan *Tube Outlet* dengan *Time Sampling* 1 menit

No.	Waktu (Menit)	Temperatur <i>Shell</i> (°C)	Temperatur <i>Tube</i> (°C)
1	13:44:20	29,81	74,29
2	13:43:20	31,77	73,80
3	13:42:20	29,81	68,91
4	13:41:20	31,77	65,98
5	13:40:19	30,79	60,61
6	13:39:19	30,79	60,12
7	13:38:19	30,79	59,63
8	13:37:19	30,30	57,90
9	13:36:19	31,28	57,67
10	13:35:19	33,72	57,18
11	13:34:19	31,28	56,70
12	13:33:18	31,28	53,76
13	13:32:18	30,79	53,27
14	13:31:18	32,26	51,81
15	13:30:18	33,72	51,32
16	13:29:18	31,28	50,34
17	13:28:18	31,77	48,39
18	13:27:17	33,72	48,88
19	13:26:17	32,26	48,39
20	13:25:17	35,68	47,90
21	13:24:16	35,68	47,41
22	13:23:16	34,21	46,92

Tabel 4.7 Lanjutan

No.	Waktu (Menit)	Temperatur Shell (°C)	Temperatur Tube (°C)
23	13:22:16	36,17	43,99
24	13:21:16	36,66	41,54
25	13:20:16	37,15	40,08
26	13:19:16	37,15	39,48
27	13:18:16	38,12	39,59
28	13:17:16	39,59	38,61
29	13:16:16	39,10	37,15
30	13:15:16	39,48	36,66
31	13:14:16	41,54	36,17
32	13:13:16	42,52	37,15

Adapun grafik hubungan antara temperatur dengan waktu pada *time sampling* 1 menit dapat dilihat pada gambar 4.3 sebagai berikut:



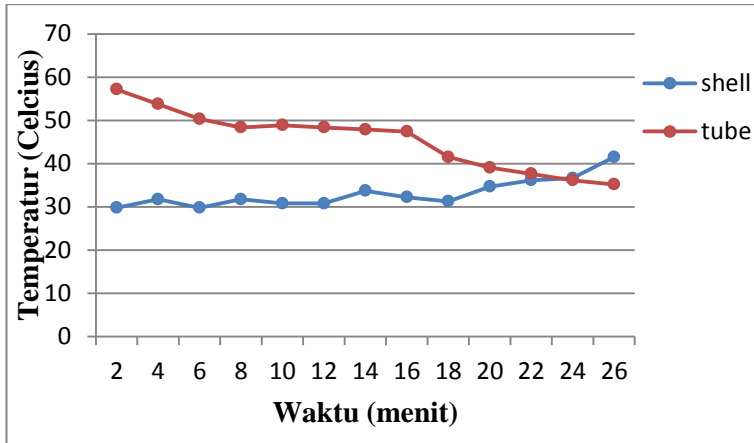
Gambar 4.6. Grafik Hubungan Temperatur dengan Waktu Pada *Time Sampling* 1 Menit

Pada percobaan ini diberikan *set point* pada *tube inlet* sebesar 75 °C dan *set point* pada *tube outlet* sebesar 45 °C. Dari gambar 4.3 dapat diketahui besarnya nilai penurunan temperatur terukur pada *tube* dari 74,29°C menjadi 37,15 °C, sehingga besar penurunan temperatur diketahui sebesar 37,14 °C dan pada bagian *shell* terjadi kenaikan hingga 12,71 °C dengan waktu tempuh 32 menit. Berdasarkan grafik respon yang ditunjukkan pada gambar 4.6 penurunan dan kenaikan temperatur tidak selalu konstan, hal ini dikarenakan terdapat pengaruh lingkungan, selain itu pada bagian *shell*, fluida berjalan secara sirkulasi sehingga kenaikan temperatur pada *shell* cenderung tidak stabil dan kecil.

Tabel 4.8 Sistem *Monitoring Temperatur Heat Exchanger Tube Outlet* dengan *Time Sampling* 2 menit

Menit Ke-	Temperatur Shell (°C)	Temperatur Tube (°C)
2	29,81	57,18
4	31,77	53,76
6	29,81	50,34
8	31,77	48,39
10	30,79	48,88
12	30,79	48,39
14	33,72	47,90
16	32,26	47,41
18	31,28	41,54
20	34,70	39,10
22	36,17	37,63
24	36,66	36,17
26	41,54	35,19

Adapun grafik hubungan antara temperatur dengan waktu dapat dilihat pada gambar 4.6 adalah sebagai berikut:



Gambar 4.7. Grafik Hubungan Temperatur dengan Waktu Pada *Time Sampling 2 Menit*

Pada percobaan ini diberikan *set point* pada *tube inlet* sebesar 60 °C dan *set point* pada *tube outlet* sebesar 45 °C. Dari gambar 4.6 dapat diketahui besarnya nilai penurunan temperatur terukur pada *tube* dari 57,18 °C menjadi 35,19 °C, sehingga besar penurunan temperatur diketahui sebesar 21,99 °C dan pada bagian *shell* mengalami kenaikan hingga 11, 73 °C dengan waktu tempuh 26 menit. Salah satu tujuan memperbanyak waktu *sampling* yaitu mengurangi nilai *error* pada pengukuran, sehingga nilai pengukuran yang diperoleh relatif stabil.

4.1.4. Perhitungan Perpindahan Panas

Kinerja dari sistem perpindahan panas pada *heat exchanger* diketahui sebagai berikut:

$$\text{Debit Tube (Q)} = 3,83 \text{ mL/s} = 3,83 \times 10^{-3} \text{ L/s}$$

$$\text{Debit Shell (Q)} = 2,5 \text{ mL/s} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ L/s}$$

Nilai debit diketahui dengan mengukur volume fluida yang mengalir pada tiap sisi *heat exchanger* per *secon*. Dari nilai debit tersebut dapat diketahui nilai massa per satuan waktu (\dot{m}), massa jenis air yaitu 1000 kg/m³ sehingga massa per satuan waktu (\dot{m}) adalah sebagai berikut:

- Massa *Tube*

$$\dot{m}_{tube} = \rho \cdot V$$

$$\dot{m}_{tube} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (3,83 \times 10^{-6} \text{ L/s})$$

$$\dot{m}_{tube} = 3,83 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

- Massa *Shell*

$$\dot{m}_{shell} = \rho \cdot V$$

$$\dot{m}_{shell} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (2,5 \times 10^{-6} \text{ L/s})$$

$$\dot{m}_{shell} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

- Perhitungan Efisiensi *Heat Exchanger*

Nilai efisiensi dapat diketahui dari perbandingan nilai energi kalor pada sisi *shell* dengan energi kalor pada sisi *tube*, sehingga nilai efisiensi perpindahan panas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{E_{shell}}{E_{tube}}$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_{shell} c \Delta T_{shell}}{\dot{m}_{tube} c \Delta T_{tube}}$$

Karena fluida yang digunakan sama yaitu air, maka nilai c yang digunakan juga sama yaitu $4200 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ maka persamaan menjadi:

$$\eta = \frac{\dot{m}_{shell} \Delta T_{shell}}{\dot{m}_{tube} \Delta T_{tube}}$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_{shell} \Delta T_{shell}}{\dot{m}_{tube} \Delta T_{tube}}$$

$$\eta = \frac{(3,83 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3) (42,52^\circ\text{C} - 29,81^\circ\text{C})}{(2,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3) (75^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})}$$

$$\eta = \frac{(3,83 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3) (12,71^\circ\text{C})}{(2,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3) (35^\circ\text{C})}$$

$$\eta = \frac{48,68}{87,50}$$

$$\eta = 0,56$$

4.2. Pembahasan

Sistem monitoring temperatur *heat exchanger* ini menggunakan sensor *thermocouple* tipe K. Hasil pengukuran sensor di tampilkan pada LCD 16 x 2 dan *interfacing* dengan *software visual basic* yang telah terhubung dengan *database MySQL*.

Prinsip kerja dari alat ini adalah, *sensing element* yang dilakukan oleh sensor *thermocouple* mengeluarkan *output* berupa tegangan. Karena yang dibutuhkan sinyal digital, maka pada *signal conditioning element* diberi rangkaian *amplifier* yang berfungsi untuk mengkondisikan sinyal keluaran agar *output* dapat diperbesar dan berupa *output high* dan *low*. Selanjutnya sinyal akan diproses pada *signal processing* dan di tampilkan pada LCD serta transmisikan ke komputer.

Dari hasil monitoring dapat dilihat bahwa terjadi pertukaran panas antara fluida panas dan fluida dingin. Dimana temperatur *output* terukur pada *shell* dan *tube* dengan *time sampling* 1 menit besar penurunan temperatur *tube* diketahui sebesar 37,14 °C dan kenaikan temperatur *shell* sebesar 12,71 °C dengan *set point* pada *tube inlet* sebesar 75 °C dan *set point* pada *tube outlet* sebesar 45 °C. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai efisiensi perpindahan panas sebesar 0,56. Nilai efisiensi yang diperoleh kurang dari 1 sehingga dapat dikatakan bahwa sistem perpindahan panas pada *heat exchanger* ini berkerja dengan baik.

LAMPIRAN A
(Data Pengujian Alat Ukur dan Kalibrasi)

Tabel A.1. Data Hasil Pengukuran Sensor Bagian *Tube*

[illegible]

Tabel A.2. Data Hasil Pengukuran Sensor Bagian *Shell*

No.	Standar (x)	Sensor Bawah (2)					Rata - rata	Koreksi (y)
		1	2	3	4	5		
1	30	31,28	30,30	30,30	29,81	30,79	30,50	-0,50
2	35	34,70	35,19	35,19	35,68	35,68	35,29	-0,29
3	40	37,68	37,63	39,10	40,08	41,06	39,11	0,89
4	45	46,42	46,43	45,94	45,94	45,94	46,13	-1,13
5	50	50,34	50,83	51,32	51,32	51,32	51,03	-1,03
6	55	55,23	56,70	56,70	57,18	57,18	56,60	-1,60
7	60	61,09	61,09	61,09	62,07	61,58	61,38	-1,38
8	65	65,49	65,98	66,47	66,47	66,47	66,18	-1,18
9	70	70,38	70,38	71,85	71,36	72,34	71,26	-1,26
10	75	75,76	75,76	76,25	76,25	76,25	76,05	-1,05
11	80	80,65	80,65	80,65	81,13	81,13	80,84	-0,84
12	85	86,51	86,02	86,51	86,51	87,00	86,51	-1,51
13	90	91,89	91,89	92,38	91,89	91,89	91,99	-1,99

LAMPIRAN B
(Listing Program di Mikrokontroler dan Microsoft Visual Studio 2013)

B.1. Listing Program Mikrokontroler ATmega 16 Code Vision AVR

/******

This program was produced by the
CodeWizardAVR V2.05.3 Standard
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2011 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
<http://www.hpinfotech.com>

Project :
Version :
Date : 5/30/2016
Author : DEVI
Company : ITS
Comments :

Chip type : ATmega16
Program type : Application
AVR Core Clock frequency : 4.000000 MHz
Memory model : Small
External RAM size : 0
Data Stack size : 256

*****/

```
#include <mega16.h>
#include <stdlib.h>
#include <delay.h>
```

```
// Alphanumeric LCD functions
#include <alcd.h>
```

```

// Standard Input/Output functions
#include <stdio.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x00

// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
    // Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
    delay_us(10);
    // Start the AD conversion
    ADCSRA|=0x40;
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
}

// Declare your global variables here
float shell, tube;
unsigned char temp_tube[16];
unsigned char temp_shell[16];
unsigned int adc_sum_tube, i, adc_out_tube;    //buat sesnsor 1
unsigned int adc_sum_shell, j, adc_out_shell; //buat sesnsor 2
char gabungkirim[15];

void main(void)
{
    // Declare your local variables here

    // Input/Output Ports initialization
    // Port A initialization
    // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
    Func1=In Func0=In

```

```

// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
  State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;

// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
  Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
  State1=T State0=T
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;

// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
  Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
  State1=T State0=T
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;

// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
  Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
  State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;

```

```
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer1 Stopped
// Mode: Normal top=0xFFFF
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
```

```
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;

// USART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART Receiver: On
// USART Transmitter: On
// USART Mode: Asynchronous
// USART Baud Rate: 9600
UCSRA=0x00;
UCSRB=0x18;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x19;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 1000.000 kHz
// ADC Voltage Reference: AREF pin
// ADC Auto Trigger Source: Free Running
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0xA2;
SFIOR&=0x1F;

// SPI initialization
```

```

// SPI disabled
SPCR=0x00;

// TWI initialization
// TWI disabled
TWCR=0x00;

// Alphanumeric LCD initialization
// Connections are specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric LCD
// menu:
// RS - PORTB Bit 0
// RD - PORTB Bit 1
// EN - PORTB Bit 2
// D4 - PORTB Bit 4
// D5 - PORTB Bit 5
// D6 - PORTB Bit 6
// D7 - PORTB Bit 7
// Characters/line: 16
lcd_init(16);

while (1)
{
    // Place your code here
    // Sensor 1 (shell outlet)
    adc_sum_shell = 0;
    for (i=0; i<15; i++)
    {
        delay_ms(10);
        adc_sum_shell+=(read_adc(2));
    }
    adc_out_shell=adc_sum_shell/15;

    //konversi 10 bit <(1023bit/5V)x10mV/C = 2,046 bit/C>

    shell=((float)adc_out_shell/2.046);

```

```

ftoa (shell,2,temp_shell);
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("Shell O =");
lcd_puts(temp_shell);
lcd_putchar(0xdf);
lcd_putsf("C");
/*-----*/
//sensor 2 (tube_outlet)
adc_sum_tube = 0;
for (j=0; j<15; j++)
{
delay_ms(10);
adc_sum_tube+=(read_adc(3));
}
adc_out_tube=adc_sum_tube/15;

//konversi 10 bit <(1023bit/5V)x10mV/C = 2,046 bit/C>

tube=((float)adc_out_tube/2.046);

ftoa (tube,2,temp_tube);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("Tube Out=");
lcd_puts(temp_tube);
lcd_putchar(0xdf);
lcd_putsf("C");
/*-----*/

//komunikasi serial
sprintf(gabungkirim,"{ %s | %s }",temp_shell,temp_tube);
puts(gabungkirim);
/*-----*/
delay_ms(1000);
}
}

```


B.2. Listing Program Microsoft Visual Studio 2013 Ultimate

B.2.1. Komunikasi Serial dan Connect Database

```
Imports System.Data
Imports System.Threading
Imports System.IO.Ports
Imports System.ComponentModel
Imports System.Data.OleDb
Imports MySql.Data
Imports MySql.Data.MySqlClient
```

```
Public Class Form1
```

```
    Private sqlConn As MySqlConnection 'variabel koneksi
    Private sqlComm As MySqlCommand
    Public ii As Integer
    Public listPort As String()
    Private ss, sst, mmt, mm As Integer
    Private timeSamplingList As String() = {0, 1, 2, 3, 4, 5}
'timesampling
    Private timeSampling As Integer 'timesampling
    Private selectSemua() As Boolean = {False, False, False}
'timesampling
    Private buka As Boolean 'timesampling
    Private simpan As Boolean = True
```

```
    Private Sub Form1_Load(sender As Object, e As EventArgs)
Handles MyBase.Load
```

```
        gb_monitoring.Visible = False
        menu_monitoring.Enabled = False
        menu_logout.Enabled = False
        menu_temperatur.Enabled = False
        menu_logout.Enabled = False
        cb_sampling.Items.AddRange(timeSamplingList) 'sampling
        timeSampling = 0 'sampling
        cb_sampling.SelectedIndex = 0 'sampling
        sqlComm = New MySqlCommand
        sqlConn = New MySqlConnection
```

```

sqlConn.ConnectionString =
"server=127.0.0.1;database=ta_heatexchanger;uid=root;pwd=;"
Try
    sqlConn.Open()
Catch ex As Exception
    MsgBox(ex.Message)
End Try

If Not SerialPort1.IsOpen Then
    btn_connect.Text = "Connect"
End If
GetPorts()
ii = 0
Try
    cb_com.Items.AddRange(listPort)
Catch ex As Exception
    cb_com.Items.Clear()
End Try
Timer1.Enabled = True
Timer1.Interval = 800
Timer1.Stop()
Timer2.Enabled = True
simpan = False
End Sub

Sub GetPorts()
    cb_com.Items.Clear()
    Dim i As Integer = 0
    For Each portAvailable As String In
My.Computer.Ports.SerialPortNames
        ReDim Preserve listPort(i)
        listPort(i) = portAvailable
        i += 1
    Next
End Sub

```

```

Private Sub cb_com_click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles cb_com.Click
    GetPorts()
    Try
        cb_com.Items.AddRange(listPort)
    Catch ex As Exception
        cb_com.Items.Clear()
    End Try
End Sub

```

```

Private Sub btn_connect_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles btn_connect.Click
    If (Not (SerialPort1.IsOpen)) Then
        SerialPort1.PortName = cb_com.Text
        Try
            SerialPort1.Open()
        Catch ex As Exception
            MsgBox(ex.Message)
        End Try
        If (SerialPort1.IsOpen) Then
            Try
                sqlConn.Open()
            Catch ex As Exception
                simpan = False
            End Try
            MsgBox("Opened")
            timeSampling = CInt(cb_sampling.Text)    'sampling
            Button1.Text = "Disconnect"
            sst = (Now.ToString("ss"))    'sampling
            mmt = (Now.ToString("mm") + timeSampling) Mod 10
'sampling
        End If
    ElseIf SerialPort1.IsOpen Then
        SerialPort1.Close()
        If Not SerialPort1.IsOpen Then
            sqlConn.Close()

```

```

        simpan = False
        Button1.Text = "Connect"
        MsgBox("closed")
    End If
End If

End Sub

Private Sub SerialPort1_DataReceived(sender As Object, e As
IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs) Handles
SerialPort1.DataReceived
    Dim dataIn As String = SerialPort1.ReadLine
    Me.Invoke(New myDelegate(AddressOf olahData), dataIn)
End Sub

Delegate Sub myDelegate(ByVal [data] As String)

Sub olahData(ByVal datamasuk As String)
    mm = CInt(Now.ToString("mm")) Mod 10      'sampling
    ss = CInt(Now.ToString("ss"))             'sampling
    If mm = mmt And ss >= sst Then            'sampling
        sst = (Now.ToString("ss"))            'sampling
        mmt = (Now.ToString("mm") + timeSampling) Mod 10
'sampling
        simpan = True
    End If

    Dim existAwal, existAkhir As Integer
    existAwal = InStr(datamasuk, "{")
    existAkhir = InStr(datamasuk, "}")
    Dim pisah As String()

    If simpan Then
        pisah = datamasuk.Split(" ")
        Try
            txt_tin.Text = pisah(1)

```

```

        txt_tout.Text = pisah(3)
        ii += 1
        RichTextBox1.AppendText(ii.ToString + " " +
Now.ToString("yyyy/MM/dd HH:mm:ss") + datamasuk + "" +
vbNewLine)

```

```

        RichTextBox1.ScrollToCaret()

```

```

Chart1.Series("Shell").Points.AddXY(Now.ToString("HH:mm:ss
"), Val(pisah(1)))

```

```

Chart1.Series("Tube").Points.AddXY(Now.ToString("HH:mm:ss
"), Val(pisah(3)))

```

```

        Catch ex As Exception
        End Try

```

```

        sqlComm = New MySqlCommand      'command baru
        Try
            With sqlComm
                .Connection = sqlConn
                .CommandText = "INSERT INTO
`shell_outlet`(no`, `tanggal_waktu`, `temperatur_shell_out`,
`temperatur_tube_out`) VALUES (" + Now.ToString("yyyy-
MM-dd HH:mm:ss") + "," + txt_tin.Text + "," + txt_tout.Text +
")"
                'instruksi tambah data
                .ExecuteNonQuery()
            End With
        Catch ex As Exception
            MsgBox(ex.Message)
        End Try
        simpan = False
    End If
End Sub

```

```

    Private Sub btn_login_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles btn_login.Click

```

```

    If txt_user.Text = "exchanger" And txt_pass.Text =
"exchanger" Then
        gb_login.Visible = False
        menu_monitoring.Enabled = True
        menu_logout.Enabled = True
        menu_temperatur.Enabled = True
    ElseIf txt_user.Text = "" And txt_pass.Text = "" Then
        MsgBox("Masukan Username dan Password Anda")
    Else
        menu_logout.Enabled = False
        menu_temperatur.Enabled = False
        MsgBox("Username dan password salah ...!!!")
    End If
End Sub

```

```

Private Sub menu_logout_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles menu_logout.Click
    gb_login.Show()
    txt_user.Clear()
    txt_pass.Clear()
    gb_monitoring.Visible = False
    menu_monitoring.Enabled = False
    menu_logout.Enabled = False
    menu_temperatur.Enabled = False
    menu_logout.Enabled = False
End Sub

```

```

Private Sub Timer1_Tick(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Timer1.Tick
    waktu.Text = Format(Now, "General Date")
End Sub

```

```

Private Sub menu_exit_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles menu_exit.Click
    Me.Close()
End Sub

```

```
Private Sub menu_temperatur_Click(sender As Object, e As  
EventArgs) Handles menu_temperatur.Click  
    gb_monitoring.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub menu_laporan_Click(sender As Object, e As  
EventArgs) Handles menu_laporan.Click  
    Form_Laporan.Show()  
End Sub
```

```
Private Sub btn_sampling_Click(sender As Object, e As  
EventArgs) Handles btn_sampling.Click  
    If Not timeSampling = CInt(cb_sampling.Text) Then  
        simpan = False  
        RichTextBox1.Clear()  
        Chart1.Series(0).Points.Clear()  
        timeSampling = CInt(cb_sampling.Text) 'sampling  
        sst = (Now.ToString("ss")) 'sampling  
        mmt = (Now.ToString("mm") + timeSampling) Mod 10  
        'sampling  
    End If  
End Sub
```

```
Private Sub Timer2_Tick(sender As Object, e As EventArgs)  
Handles Timer2.Tick  
    timer_sampling.Text = Format(Now, "hh:mm:ss tt")  
End Sub
```

```
Private Sub cb_com_SelectedIndexChanged(sender As Object,  
e As EventArgs) Handles cb_com.SelectedIndexChanged  
    cekkk(0)  
End Sub
```

```

Private Sub cb_sampling_SelectedIndexChanged(sender As
Object, e As EventArgs) Handles
cb_sampling.SelectedIndexChanged
    cekk(1)
End Sub

Sub cekk(ByVal iii As Integer)
    selectSemua(iii) = True
    buka = True
    For iii As Integer = 0 To 1
        If (Not selectSemua(iii)) Then
            buka = False
        End If
    Next
    btn_connect.Enabled = buka
    btn_sampling.Enabled = buka
End Sub
End Class

```

B.2.2. Report Viewer

```

Imports System.Data.OleDb
Imports MySql.Data
Imports MySql.Data.MySqlClient
Imports Microsoft.Reporting.WinForms

Public Class Form_Laporan
    Private sqlConn As MySqlConnection 'variabel koneksi
    Private sqlComm As MySqlCommand
    Private Sub Form_Laporan_Load(sender As Object, e As
EventArgs) Handles MyBase.Load
        sqlConn = New MySqlConnection
        sqlConn.ConnectionString =
"server=127.0.0.1;database=ta_heatexchanger;uid=root;pwd=;"
        Try
            sqlConn.Open()

```



```
Catch ex As Exception
    MsgBox(ex.Message)
End Try
```

```
Me.WindowState = FormWindowState.Maximized
```

```
Me.ReportViewer_Temp.SetDisplayMode(DisplayMode.PrintLayout)
```

```
tampil_report()
End Sub
```

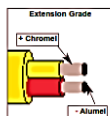
```
Private Sub tampil_report()
    Dim SDA As New MySqlDataAdapter
    Dim DS As New DataSet_Temp
    SDA.SelectCommand = New
    MySqlCommand("Select*from shell_outlet", sqlConn)
    SDA.Fill(DS.Tables(0))
    ReportViewer_Temp.ProcessingMode =
    Microsoft.Reporting.WinForms.ProcessingMode.Local
    ReportViewer_Temp.LocalReport.ReportPath =
    System.Environment.CurrentDirectory & "\\Report1.rdlc"
    ReportViewer_Temp.LocalReport.DataSources.Clear()
    ReportViewer_Temp.LocalReport.DataSources.Add(New
    Microsoft.Reporting.WinForms.ReportDataSource("DataSet_Temp", DS.Tables(0)))
    ReportViewer_Temp.DocumentMapCollapsed = True
    Me.ReportViewer_Temp.RefreshReport()
```

```
End Sub
```

```
End Class
```

LAMPIRAN C (Datasheet)

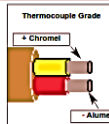
C.1. Datasheet Thermocouple Tipe K



Temperature vs Millivolt Table Reference Junction 0°C

Temperature Range
Maximum Useful Temperature Range:
Thermocouple Grade: -328 to 2282°F
-200 to 1250°C
Extension Grade: 32 to 392°F
0 to 200°C

Maximum Thermocouple Grade
Temperature Range
-454 to 2501°F
-270 to 1372°C
Accuracy: Standard: 2.2°C or 0.75%
Special: 1.1°C or 0.4%



Recommended Applications:
Clean Oxidizing and Inert Environments, Limited Use in Vacuum or Reducing Environment

Temp	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-270	-6.4577									
-260	-6.4411	-6.4437	-6.4460	-6.4482	-6.4501	-6.4518	-6.4534	-6.4548	-6.4559	-6.4569
-250	-6.4036	-6.4084	-6.4129	-6.4172	-6.4212	-6.4251	-6.4287	-6.4321	-6.4353	-6.4383
-240	-6.3438	-6.3508	-6.3576	-6.3641	-6.3704	-6.3765	-6.3824	-6.3880	-6.3935	-6.3986
-230	-6.2618	-6.2710	-6.2800	-6.2887	-6.2973	-6.3056	-6.3137	-6.3215	-6.3292	-6.3366
-220	-6.1584	-6.1697	-6.1808	-6.1916	-6.2023	-6.2128	-6.2230	-6.2330	-6.2428	-6.2524
-210	-6.0346	-6.0479	-6.0610	-6.0738	-6.0865	-6.0990	-6.1113	-6.1234	-6.1353	-6.1469
-200	-5.8914	-5.9066	-5.9216	-5.9363	-5.9510	-5.9654	-5.9796	-5.9936	-6.0075	-6.0211
-190	-5.7297	-5.7467	-5.7635	-5.7801	-5.7966	-5.8128	-5.8289	-5.8448	-5.8605	-5.8761
-180	-5.5504	-5.5691	-5.5876	-5.6060	-5.6242	-5.6422	-5.6601	-5.6777	-5.6952	-5.7126
-170	-5.3540	-5.3744	-5.3946	-5.4146	-5.4345	-5.4543	-5.4738	-5.4932	-5.5124	-5.5315
-160	-5.1412	-5.1632	-5.1851	-5.2067	-5.2283	-5.2496	-5.2708	-5.2918	-5.3127	-5.3334
-150	-4.9127	-4.9363	-4.9597	-4.9829	-5.0060	-5.0289	-5.0517	-5.0743	-5.0968	-5.1191
-140	-4.6690	-4.6940	-4.7189	-4.7437	-4.7683	-4.7927	-4.8170	-4.8412	-4.8652	-4.8890
-130	-4.4106	-4.4371	-4.4634	-4.4896	-4.5157	-4.5416	-4.5674	-4.5930	-4.6185	-4.6438
-120	-4.1382	-4.1661	-4.1938	-4.2214	-4.2488	-4.2761	-4.3033	-4.3303	-4.3572	-4.3840
-110	-3.8524	-3.8815	-3.9106	-3.9395	-3.9683	-3.9969	-4.0255	-4.0538	-4.0821	-4.1102
-100	-3.5536	-3.5841	-3.6144	-3.6446	-3.6746	-3.7046	-3.7344	-3.7641	-3.7936	-3.8230
-90	-3.2427	-3.2743	-3.3058	-3.3372	-3.3685	-3.3997	-3.4307	-3.4616	-3.4924	-3.5231
-80	-2.9201	-2.9529	-2.9855	-3.0181	-3.0505	-3.0828	-3.1150	-3.1471	-3.1791	-3.2109
-70	-2.5866	-2.6205	-2.6542	-2.6878	-2.7213	-2.7547	-2.7880	-2.8212	-2.8543	-2.8873
-60	-2.2428	-2.2777	-2.3124	-2.3470	-2.3815	-2.4160	-2.4503	-2.4845	-2.5187	-2.5527
-50	-1.8894	-1.9251	-1.9608	-1.9964	-2.0319	-2.0673	-2.1026	-2.1378	-2.1729	-2.2079
-40	-1.5270	-1.5636	-1.6001	-1.6366	-1.6730	-1.7093	-1.7455	-1.7816	-1.8176	-1.8535
-30	-1.1561	-1.1936	-1.2309	-1.2682	-1.3054	-1.3426	-1.3796	-1.4166	-1.4534	-1.4902
-20	-0.7775	-0.8157	-0.8539	-0.8919	-0.9299	-0.9678	-1.0056	-1.0433	-1.0810	-1.1186
-10	-0.3919	-0.4307	-0.4695	-0.5083	-0.5469	-0.5855	-0.6241	-0.6625	-0.7010	-0.7393
0	0.0000	-0.0394	-0.0788	-0.1181	-0.1574	-0.1966	-0.2358	-0.2749	-0.3139	-0.3529

Temp	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.0000	0.0395	0.0790	0.1186	0.1582	0.1979	0.2376	0.2773	0.3171	0.3570
10	0.3969	0.4368	0.4768	0.5168	0.5569	0.5970	0.6371	0.6773	0.7175	0.7578
20	0.7981	0.8385	0.8789	0.9193	0.9597	1.0002	1.0408	1.0814	1.1220	1.1626
30	1.2033	1.2440	1.2847	1.3255	1.3663	1.4072	1.4480	1.4889	1.5299	1.5708
40	1.6118	1.6528	1.6939	1.7349	1.7760	1.8171	1.8583	1.8994	1.9406	1.9818
50	2.0231	2.0643	2.1056	2.1469	2.1882	2.2296	2.2709	2.3123	2.3537	2.3951
60	2.4365	2.4779	2.5193	2.5608	2.6023	2.6437	2.6852	2.7267	2.7682	2.8097
70	2.8513	2.8928	2.9343	2.9758	3.0174	3.0589	3.1005	3.1420	3.1836	3.2251
80	3.2666	3.3082	3.3497	3.3913	3.4328	3.4743	3.5159	3.5574	3.5989	3.6404
90	3.6819	3.7234	3.7648	3.8063	3.8478	3.8892	3.9306	3.9721	4.0135	4.0549
100	4.0962	4.1376	4.1789	4.2203	4.2616	4.3029	4.3442	4.3854	4.4266	4.4679
110	4.5091	4.5502	4.5914	4.6325	4.6737	4.7148	4.7558	4.7969	4.8379	4.8789
120	4.9199	4.9608	5.0018	5.0427	5.0836	5.1244	5.1653	5.2061	5.2469	5.2877
130	5.3284	5.3691	5.4098	5.4505	5.4911	5.5318	5.5724	5.6129	5.6535	5.6940
140	5.7345	5.7750	5.8155	5.8559	5.8963	5.9367	5.9771	6.0174	6.0578	6.0981
150	6.1383	6.1786	6.2189	6.2591	6.2993	6.3395	6.3797	6.4198	6.4600	6.5001
160	6.5402	6.5803	6.6204	6.6605	6.7005	6.7406	6.7806	6.8206	6.8606	6.9006
170	6.9406	6.9806	7.0205	7.0605	7.1004	7.1404	7.1803	7.2203	7.2602	7.3001

Temperature & Process Instruments Inc. Visit us on the web at www.tnp-instruments.com
1767 Central Avenue • Suite 112 • Yonkers • NY • USA • 10710 • Phone: (914) 673-0333 Fax: (866) 292-1456

C.2. Datasheet AD595



Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation

AD594/AD595

FEATURES

Pretrimmed for Type J (AD594) or

Type K (AD595) Thermocouples

Can Be Used with Type T Thermocouple Inputs

Low Impedance Voltage Output: 10 mV/°C

Built-In Ice Point Compensation

Wide Power Supply Range: +5 V to ± 15 V

Low Power: <1 mW typical

Thermocouple Failure Alarm

Laser Wafer Trimmed to 1°C Calibration Accuracy

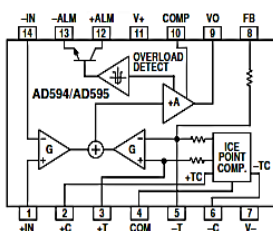
Setpoint Mode Operation

Self-Contained Celsius Thermometer Operation

High Impedance Differential Input

Side-Brazed DIP or Low Cost Cerdip

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



PRODUCT DESCRIPTION

The AD594/AD595 is a complete instrumentation amplifier and thermocouple cold junction compensator on a monolithic chip. It combines an ice point reference with a precalibrated amplifier to produce a high level (10 mV/°C) output directly from a thermocouple signal. Pin-strapping options allow it to be used as a linear amplifier-compensator or as a switched output setpoint controller using either fixed or remote setpoint control. It can be used to amplify its compensation voltage directly, thereby converting it to a stand-alone Celsius transducer with a low impedance voltage output.

The AD594/AD595 includes a thermocouple failure alarm that indicates if one or both thermocouple leads become open. The alarm output has a flexible format which includes TTL drive capability.

The AD594/AD595 can be powered from a single ended supply (including +5 V) and by including a negative supply, temperatures below 0°C can be measured. To minimize self-heating, an unloaded AD594/AD595 will typically operate with a total supply current 160 μ A, but is also capable of delivering in excess of ± 5 mA to a load.

The AD594 is precalibrated by laser wafer trimming to match the characteristic of type J (iron-constantan) thermocouples and the AD595 is laser trimmed for type K (chromel-alumel) inputs. The temperature transducer voltages and gain control resistors

are available at the package pins so that the circuit can be recalibrated for the thermocouple types by the addition of two or three resistors. These terminals also allow more precise calibration for both thermocouple and thermometer applications.

The AD594/AD595 is available in two performance grades. The C and the A versions have calibration accuracies of $\pm 1^\circ\text{C}$ and $\pm 3^\circ\text{C}$, respectively. Both are designed to be used from 0°C to +50°C, and are available in 14-pin, hermetically sealed, side-brazed ceramic DIPs as well as low cost cerdip packages.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD594/AD595 provides cold junction compensation, amplification, and an output buffer in a single IC package.
2. Compensation, zero, and scale factor are all precalibrated by laser wafer trimming (LWT) of each IC chip.
3. Flexible pinout provides for operation as a setpoint controller or a stand-alone temperature transducer calibrated in degrees Celsius.
4. Operation at remote application sites is facilitated by low quiescent current and a wide supply voltage range +5 V to dual supplies spanning 30 V.
5. Differential input rejects common-mode noise voltage on the thermocouple leads.

REV. C

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

AD594/AD595—SPECIFICATIONS (@ +25°C and $V_S = 5\text{ V}$, Type J (AD594), Type K (AD595) Thermocouple, unless otherwise noted)

Model	AD594A			AD594C			AD595A			AD595C			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
ABSOLUTE MAXIMUM RATING													
+ V_S to $-V_S$		36			36			36			36		Volts
Common-Mode Input Voltage	$-V_S - 0.15$	+ V_S		$-V_S - 0.15$	+ V_S		$-V_S - 0.15$	+ V_S		$-V_S - 0.15$	+ V_S		Volts
Differential Input Voltage	$-V_S$	+ V_S		$-V_S$	+ V_S		$-V_S$	+ V_S		$-V_S$	+ V_S		Volts
Alarm Voltages													
+ALM	$-V_S$	$-V_S + 36$	$-V_S$	$-V_S$	$-V_S + 36$	$-V_S$	$-V_S$	$-V_S + 36$	$-V_S$	$-V_S$	$-V_S + 36$		Volts
-ALM	$-V_S$	+ V_S	$-V_S$	$-V_S$	+ V_S	$-V_S$	$-V_S$	+ V_S	$-V_S$	$-V_S$	+ V_S		Volts
Operating Temperature Range	-55	+125	-55	-55	+125	-55	-55	+125	-55	-55	+125		°C
Output Short Circuit to Common	Indefinite		Indefinite		Indefinite		Indefinite		Indefinite				
TEMPERATURE MEASUREMENT													
(Specified Temperature Range 0°C to +50°C)													
Calibration Error at +25°C ¹		±3			±1			±3			±1		°C
Stability vs. Temperature ²		±0.05			±0.025			±0.05			±0.025		°C/°C
Gain Error		±1.5			±0.75			±1.5			±0.75		%
Nominal Transfer Function		10			10			10			10		mV/°C
AMPLIFIER CHARACTERISTICS													
Closed Loop Gain ³	193.4			193.4			247.3			247.3			
Input Offset Voltage	(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			μV
Input Bias Current	0.1			0.1			0.1			0.1			μA
Differential Input Range	-10	+50		-10	+50		-10	+50		-10	+50		mV
Common-Mode Range	$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$		$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$		$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$		$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$		Volts
Common-Mode Sensitivity – RTO		10			10			10			10		mV/V
Power Supply Sensitivity – RTO		10			10			10			10		mV/V
Output Voltage Range													
Dual Supply	$-V_S + 2.5$	+ $V_S - 2$	$-V_S + 2.5$	+ $V_S - 2$	$-V_S + 2.5$	+ $V_S - 2$	$-V_S + 2.5$	+ $V_S - 2$	$-V_S + 2.5$	+ $V_S - 2$	+ $V_S - 2$		Volts
Single Supply	0	+ $V_S - 2$	0	+ $V_S - 2$	0	+ $V_S - 2$	0	+ $V_S - 2$	0	+ $V_S - 2$	+ $V_S - 2$		Volts
Usable Output Current ⁴	±5		±5		±5		±5		±5		±5		mA
3 dB Bandwidth	15		15		15		15		15		15		kHz
ALARM CHARACTERISTICS													
V_{CSAT} at 2 mA	0.3		0.3		0.3		0.3		0.3		0.3		Volts
Leakage Current	±1		±1		±1		±1		±1		±1		μA max
Operating Voltage at -ALM		+ $V_S - 4$			+ $V_S - 4$			+ $V_S - 4$			+ $V_S - 4$		Volts
Short Circuit Current	20		20		20		20		20		20		mA
POWER REQUIREMENTS													
Specified Performance													
Operating ⁵	+ $V_S = 5$, $-V_S = 0$		+ $V_S = 5$, $-V_S = 0$		+ $V_S = 5$, $-V_S = 0$		+ $V_S = 5$, $-V_S = 0$		+ $V_S = 5$, $-V_S = 0$		+ $V_S = 5$, $-V_S = 0$		Volts
Quiescent Current (No Load)	+ V_S to $-V_S \leq 30$		+ V_S to $-V_S \leq 30$		+ V_S to $-V_S \leq 30$		+ V_S to $-V_S \leq 30$		+ V_S to $-V_S \leq 30$		+ V_S to $-V_S \leq 30$		Volts
+ V_S	160	300	160	300	160	300	160	300	160	300	160	300	μA
$-V_S$	100		100		100		100		100		100		μA
PACKAGE OPTION													
TO-116 (D-14)	AD594AD			AD594CD			AD595AD			AD595CD			
Cerdip (Q-14)	AD594AQ			AD594CQ			AD595AQ			AD595CQ			

NOTES

¹Calibrated for minimum error at +25°C using a thermocouple sensitivity of 51.7 μV/°C. Since a J type thermocouple deviates from this straight line approximation, the AD594 will normally read 3.1 mV when the measuring junction is at 0°C. The AD595 will similarly read 2.7 mV at 0°C.

²Defined as the slope of the line connecting the AD594/AD595 errors measured at 0°C and 50°C ambient temperature.

³Pin 8 shorted to Pin 9.

⁴Current Sink Capability in single supply configuration is limited to current drawn to ground through a 50 kΩ resistor at output voltages below 2.5 V.

⁵ $-V_S$ must not exceed -16.5 V.

Specifications shown in **boldface** are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in **boldface** are tested on all production units. Specifications subject to change without notice.

INTERPRETING AD594/AD595 OUTPUT VOLTAGES

To achieve a temperature proportional output of 10 mV/°C and accurately compensate for the reference junction over the rated operating range of the circuit, the AD594/AD595 is gain trimmed to match the transfer characteristic of J and K type thermocouples at 25°C. For a type J output in this temperature range the TC is 51.70 μV/°C, while for a type K it is 40.44 μV/°C. The resulting gain for the AD594 is 193.4 (10 mV/°C divided by 51.7 μV/°C) and for the AD595 is 247.3 (10 mV/°C divided by 40.44 μV/°C). In addition, an absolute accuracy trim induces an input offset to the output amplifier characteristic of 16 μV for the AD594 and 11 μV for the AD595. This offset arises because the AD594/AD595 is trimmed for a 250 mV output while applying a 25°C thermocouple input.

Because a thermocouple output voltage is nonlinear with respect to temperature, and the AD594/AD595 linearly amplifies the

compensated signal, the following transfer functions should be used to determine the actual output voltages:

$$AD594 \text{ output} = (\text{Type J Voltage} + 16 \mu\text{V}) \times 193.4$$

$$AD595 \text{ output} = (\text{Type K Voltage} + 11 \mu\text{V}) \times 247.3 \text{ or conversely:}$$

$$\text{Type J voltage} = (AD594 \text{ output}/193.4) - 16 \mu\text{V}$$

$$\text{Type K voltage} = (AD595 \text{ output}/247.3) - 11 \mu\text{V}$$

Table I lists the ideal AD594/AD595 output voltages as a function of Celsius temperature for type J and K ANSI standard thermocouples, with the package and reference junction at 25°C. As is normally the case, these outputs are subject to calibration, gain and temperature sensitivity errors. Output values for intermediate temperatures can be interpolated, or calculated using the output equations and ANSI thermocouple voltage tables referred to zero degrees Celsius. Due to a slight variation in alloy content between ANSI type J and DIN Fe-Cu/Ni

Table I. Output Voltage vs. Thermocouple Temperature (Ambient +25°C, $V_S = -5\text{ V}, +15\text{ V}$)

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV
-200	-7.890	-1523	-5.891	-1454
-180	-7.402	-1428	-5.550	-1370
-160	-6.821	-1316	-5.141	-1269
-140	-6.159	-1188	-4.669	-1152
-120	-5.426	-1046	-4.138	-1021
-100	-4.632	-893	-3.553	-876
-80	-3.785	-729	-2.920	-719
-60	-2.892	-556	-2.243	-552
-40	-1.960	-376	-1.527	-375
-20	-0.995	-189	-0.777	-189
-10	-0.501	-94	-0.392	-94
0	0	3.1	0	2.7
10	0.507	101	0.397	101
20	1.019	200	0.798	200
25	1.277	250	1.000	250
30	1.536	300	1.203	300
40	2.058	401	1.611	401
50	2.585	503	2.022	503
60	3.115	606	2.436	605
80	4.186	813	3.266	810
100	5.268	1022	4.095	1015
120	6.359	1233	4.919	1219
140	7.457	1445	5.733	1420
160	8.560	1659	6.539	1620
180	9.667	1873	7.338	1817
200	10.777	2087	8.137	2015
220	11.887	2302	8.938	2213
240	12.998	2517	9.745	2413
260	14.108	2732	10.560	2614
280	15.217	2946	11.381	2817
300	16.325	3160	12.207	3022
320	17.432	3374	13.039	3227
340	18.537	3588	13.874	3434
360	19.640	3801	14.712	3641
380	20.743	4015	15.552	3849
400	21.846	4228	16.395	4057
420	22.949	4441	17.241	4266
440	24.054	4655	18.088	4476
460	25.161	4869	18.938	4686
480	26.272	5084	19.788	4896

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV
500	27.388	5300	20.640	5107
520	28.511	5517	21.493	5318
540	29.642	5736	22.346	5529
560	30.782	5956	23.198	5740
580	31.933	6179	24.050	5950
600	33.096	6404	24.902	6161
620	34.273	6632	25.751	6371
640	35.464	6862	26.599	6581
660	36.671	7095	27.445	6790
680	37.893	7332	28.288	6998
700	39.130	7571	29.128	7206
720	40.382	7813	29.965	7413
740	41.647	8058	30.799	7619
750	42.283	8181	31.214	7722
760	-	-	31.629	7825
780	-	-	32.455	8029
800	-	-	33.277	8232
820	-	-	34.095	8434
840	-	-	34.909	8636
860	-	-	35.718	8836
880	-	-	36.524	9035
900	-	-	37.325	9233
920	-	-	38.122	9430
940	-	-	38.915	9626
960	-	-	39.703	9821
980	-	-	40.488	10015
1000	-	-	41.269	10209
1020	-	-	42.045	10400
1040	-	-	42.817	10591
1060	-	-	43.585	10781
1080	-	-	44.339	10970
1100	-	-	45.108	11158
1120	-	-	45.863	11345
1140	-	-	46.612	11530
1160	-	-	47.356	11714
1180	-	-	48.095	11897
1200	-	-	48.828	12078
1220	-	-	49.555	12258
1240	-	-	50.276	12436
1250	-	-	50.633	12524

thermocouples Table I should not be used in conjunction with European standard thermocouples. Instead the transfer function given previously and a DIN thermocouple table should be used. ANSI type K and DIN NiCr-Ni thermocouples are composed

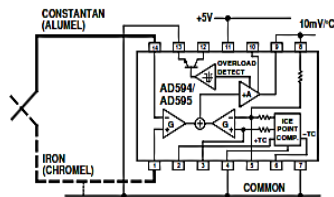


Figure 1. Basic Connection, Single Supply Operation

of identical alloys and exhibit similar behavior. The upper temperature limits in Table I are those recommended for type J and type K thermocouples by the majority of vendors.

SINGLE AND DUAL SUPPLY CONNECTIONS

The AD594/AD595 is a completely self-contained thermocouple conditioner. Using a single +5 V supply the interconnections shown in Figure 1 will provide a direct output from a type J thermocouple (AD594) or type K thermocouple (AD595) measuring from 0°C to +300°C.

Any convenient supply voltage from +5 V to +30 V may be used, with self-heating errors being minimized at lower supply levels. In the single supply configuration the +5 V supply connects to Pin 11 with the V- connection at Pin 7 strapped to power and signal common at Pin 4. The thermocouple wire inputs connect to Pins 1 and 14 either directly from the measuring point or through intervening connections of similar thermocouple wire type. When the alarm output at Pin 13 is not used it should be connected to common or -V. The precalibrated feedback network at Pin 8 is tied to the output at Pin 9 to provide a 10 mV/°C nominal temperature transfer characteristic.

By using a wider ranging dual supply, as shown in Figure 2, the AD594/AD595 can be interfaced to thermocouples measuring both negative and extended positive temperatures.

AD594/AD595

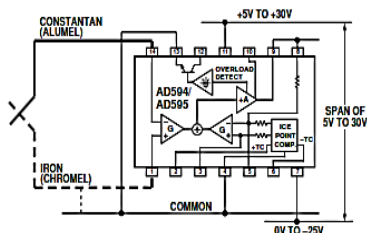


Figure 2. Dual Supply Operation

With a negative supply the output can indicate negative temperatures and drive grounded loads or loads returned to positive voltages. Increasing the positive supply from 5 V to 15 V extends the output voltage range well beyond the 750°C temperature limit recommended for type J thermocouples (AD594) and the 1250°C for type K thermocouples (AD595).

Common-mode voltages on the thermocouple inputs must remain within the common-mode range of the AD594/AD595, with a return path provided for the bias currents. If the thermocouple is not remotely grounded, then the dotted line connections in Figures 1 and 2 are recommended. A resistor may be needed in this connection to assure that common-mode voltages induced in the thermocouple loop are not converted to normal mode.

THERMOCOUPLE CONNECTIONS

The isothermal terminating connections of a pair of thermocouple wires forms an effective reference junction. This junction must be kept at the same temperature as the AD594/AD595 for the internal cold junction compensation to be effective.

A method that provides for thermal equilibrium is the printed circuit board connection layout illustrated in Figure 3.

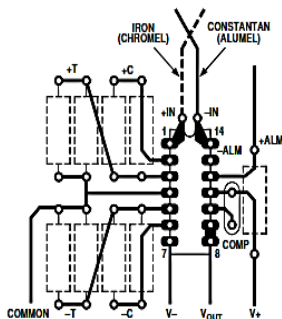


Figure 3. PCB Connections

Here the AD594/AD595 package temperature and circuit board are thermally contacted in the copper printed circuit board tracks under Pins 1 and 14. The reference junction is now composed of a copper-constantan (or copper-alumel) connection and copper-iron (or copper-chromel) connection, both of which are at the same temperature as the AD594/AD595.

The printed circuit board layout shown also provides for placement of optional alarm load resistors, recalibration resistors and a compensation capacitor to limit bandwidth.

To ensure secure bonding the thermocouple wire should be cleaned to remove oxidation prior to soldering. Noncorrosive rosin flux is effective with iron, constantan, chromel and alumel and the following solders: 95% tin-5% antimony, 95% tin-5% silver or 90% tin-10% lead.

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The AD594 behaves like two differential amplifiers. The outputs are summed and used to control a high gain amplifier, as shown in Figure 4.

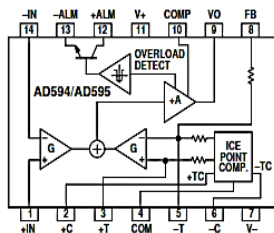


Figure 4. AD594/AD595 Block Diagram

In normal operation the main amplifier output, at Pin 9, is connected to the feedback network, at Pin 8. Thermocouple signals applied to the floating input stage, at Pins 1 and 14, are amplified by gain G of the differential amplifier and are then further amplified by gain A in the main amplifier. The output of the main amplifier is fed back to a second differential stage in an inverting connection. The feedback signal is amplified by this stage and is also applied to the main amplifier input through a summing circuit. Because of the inversion, the amplifier causes the feedback to be driven to reduce this difference signal to a small value. The two differential amplifiers are made to match and have identical gains, G. As a result, the feedback signal that must be applied to the right-hand differential amplifier will precisely match the thermocouple input signal when the difference signal has been reduced to zero. The feedback network is trimmed so that the effective gain to the output, at Pins 8 and 9, results in a voltage of 10 mV/°C of thermocouple excitation.

In addition to the feedback signal, a cold junction compensation voltage is applied to the right-hand differential amplifier. The compensation is a differential voltage proportional to the Celsius temperature of the AD594/AD595. This signal disturbs the differential input so that the amplifier output must adjust to restore the input to equal the applied thermocouple voltage.

The compensation is applied through the gain scaling resistors so that its effect on the main output is also 10 mV/°C. As a result, the compensation voltage adds to the effect of the thermocouple voltage a signal directly proportional to the difference between 0°C and the AD594/AD595 temperature. If the thermocouple reference junction is maintained at the AD594/AD595 temperature, the output of the AD594/AD595 will correspond to the reading that would have been obtained from amplification of a signal from a thermocouple referenced to an ice bath.

The AD594/AD595 also includes an input open circuit detector that switches on an alarm transistor. This transistor is actually a current-limited output buffer, but can be used up to the limit as a switch transistor for either pull-up or pull-down operation of external alarms.

The ice point compensation network has voltages available with positive and negative temperature coefficients. These voltages may be used with external resistors to modify the ice point compensation and recalibrate the AD594/AD595 as described in the next column.

The feedback resistor is separately pinned out so that its value can be padded with a series resistor, or replaced with an external resistor between Pins 5 and 9. External availability of the feedback resistor allows gain to be adjusted, and also permits the AD594/AD595 to operate in a switching mode for setpoint operation.

CAUTIONS:

The temperature compensation terminals (+C and -C) at Pins 2 and 6 are provided to supply small calibration currents only. The AD594/AD595 may be permanently damaged if they are grounded or connected to a low impedance.

The AD594/AD595 is internally frequency compensated for feedback ratios (corresponding to normal signal gain) of 75 or more. If a lower gain is desired, additional frequency compensation should be added in the form of a 300 pF capacitor from Pin 10 to the output at Pin 9. As shown in Figure 5 an additional 0.01 μ F capacitor between Pins 10 and 11 is recommended.

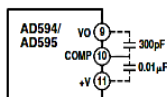


Figure 5. Low Gain Frequency Compensation

RECALIBRATION PRINCIPLES AND LIMITATIONS

The ice point compensation network of the AD594/AD595 produces a differential signal which is zero at 0°C and corresponds to the output of an ice referenced thermocouple at the temperature of the chip. The positive TC output of the circuit is proportional to Kelvin temperature and appears as a voltage at +T. It is possible to decrease this signal by loading it with a resistor from +T to COM, or increase it with a pull-up resistor from +T to the larger positive TC voltage at +C. Note that adjustments to +T should be made by measuring the voltage which tracks it at -T. To avoid destabilizing the feedback amplifier the measuring instrument should be isolated by a few thousand ohms in series with the lead connected to -T.

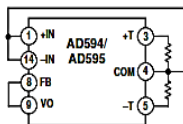


Figure 6. Decreased Sensitivity Adjustment

Changing the positive TC half of the differential output of the compensation scheme shifts the zero point away from 0°C. The zero can be restored by adjusting the current flow into the negative input of the feedback amplifier, the -T pin. A current into

this terminal can be produced with a resistor between -C and -T to balance an increase in +T, or a resistor from -T to COM to offset a decrease in +T.

If the compensation is adjusted substantially to accommodate a different thermocouple type, its effect on the final output voltage will increase or decrease in proportion. To restore the nominal output to 10 mV/°C the gain may be adjusted to match the new compensation and thermocouple input characteristics. When reducing the compensation the resistance between -T and COM automatically increases the gain to within 0.5% of the correct value. If a smaller gain is required, however, the nominal 47 k Ω internal feedback resistor can be paralleled or replaced with an external resistor.

Fine calibration adjustments will require temperature response measurements of individual devices to assure accuracy. Major reconfigurations for other thermocouple types can be achieved without seriously compromising initial calibration accuracy, so long as the procedure is done at a fixed temperature using the factory calibration as a reference. It should be noted that intermediate recalibration conditions may require the use of a negative supply.

EXAMPLE: TYPE E RECALIBRATION—AD594/AD595

Both the AD594 and AD595 can be configured to condition the output of a type E (chromel-constantan) thermocouple. Temperature characteristics of type E thermocouples differ less from type J, than from type K, therefore the AD594 is preferred for recalibration.

While maintaining the device at a constant temperature follow the recalibration steps given here. First, measure the device temperature by tying both inputs to common (or a selected common-mode potential) and connecting FB to VO. The AD594 is now in the stand alone Celsius thermometer mode. For this example assume the ambient is 24°C and the initial output VO is 240 mV. Check the output at VO to verify that it corresponds to the temperature of the device.

Next, measure the voltage -T at Pin 5 with a high impedance DVM (capacitance should be isolated by a few thousand ohms of resistance at the measured terminals). At 24°C the -T voltage will be about 8.3 mV. To adjust the compensation of an AD594 to a type E thermocouple a resistor, R1, should be connected between +T and +C, Pins 2 and 3, to raise the voltage at -T by the ratio of thermocouple sensitivities. The ratio for converting a type J device to a type E characteristic is:

$$r(\text{AD594}) = (60.9 \mu\text{V}/^\circ\text{C}) / (51.7 \mu\text{V}/^\circ\text{C}) = 1.18$$

Thus, multiply the initial voltage measured at -T by r and experimentally determine the R1 value required to raise -T to that level. For the example the new -T voltage should be about 9.8 mV. The resistance value should be approximately 1.8 k Ω .

The zero differential point must now be shifted back to 0°C.

This is accomplished by multiplying the original output voltage VO by r and adjusting the measured output voltage to this value by experimentally adding a resistor, R2, between -C and -T, Pins 5 and 6. The target output value in this case should be about 283 mV. The resistance value of R2 should be approximately 240 k Ω .

Finally, the gain must be recalibrated such that the output VO indicates the device's temperature once again. Do this by adding a third resistor, R3, between FB and -T, Pins 8 and 5. VO should now be back to the initial 240 mV reading. The resistance value

AD594/AD595

of R3 should be approximately 280 k Ω . The final connection diagram is shown in Figure 7. An approximate verification of the effectiveness of recalibration is to measure the differential gain to the output. For type E it should be 164.2.

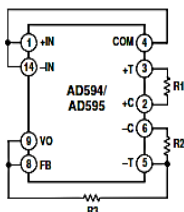


Figure 7. Type E Recalibration

When implementing a similar recalibration procedure for the AD595 the values for R1, R2, R3 and r will be approximately 650 Ω , 84 k Ω , 93 k Ω and 1.51, respectively. Power consumption will increase by about 50% when using the AD595 with type E inputs.

Note that during this procedure it is crucial to maintain the AD594/AD595 at a stable temperature because it is used as the temperature reference. Contact with fingers or any tools not at ambient temperature will quickly produce errors. Radiational heating from a change in lighting or approach of a soldering iron must also be guarded against.

USING TYPE T THERMOCOUPLES WITH THE AD595

Because of the similarity of thermal EMFs in the 0°C to +50°C range between type K and type T thermocouples, the AD595 can be directly used with both types of inputs. Within this ambient temperature range the AD595 should exhibit no more than an additional 0.2°C output calibration error when used with type T inputs. The error arises because the ice point compensator is trimmed to type K characteristics at 25°C. To calculate the AD595 output values over the recommended -200°C to +350°C range for type T thermocouples, simply use the ANSI thermocouple voltages referred to 0°C and the output equation given on page 2 for the AD595. Because of the relatively large nonlinearities associated with type T thermocouples the output will deviate widely from the nominal 10 mV/°C. However, cold junction compensation over the rated 0°C to +50°C ambient will remain accurate.

STABILITY OVER TEMPERATURE

Each AD594/AD595 is tested for error over temperature with the measuring thermocouple at 0°C. The combined effects of cold junction compensation error, amplifier offset drift and gain error determine the stability of the AD594/AD595 output over the rated ambient temperature range. Figure 8 shows an AD594/AD595 drift error envelope. The slope of this figure has units of °C/°C.

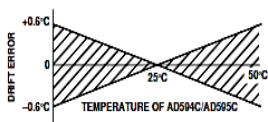


Figure 8. Drift Error vs. Temperature

THERMAL ENVIRONMENT EFFECTS

The inherent low power dissipation of the AD594/AD595 and the low thermal resistance of the package make self-heating errors almost negligible. For example, in still air the chip to ambient thermal resistance is about 80°C/watt (for the D package). At the nominal dissipation of 800 μ W the self-heating in free air is less than 0.065°C. Submerged in fluorinert liquid (unstirred) the thermal resistance is about 40°C/watt, resulting in a self-heating error of about 0.032°C.

SETPOINT CONTROLLER

The AD594/AD595 can readily be connected as a setpoint controller as shown in Figure 9.

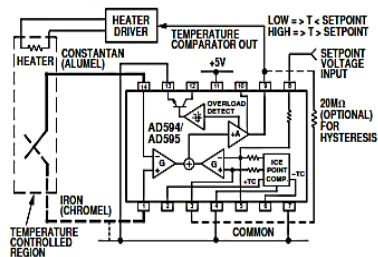


Figure 9. Setpoint Controller

The thermocouple is used to sense the unknown temperature and provide a thermal EMF to the input of the AD594/AD595. The signal is cold junction compensated, amplified to 10 mV/°C and compared to an external setpoint voltage applied by the user to the feedback at Pin 8. Table I lists the correspondence between setpoint voltage and temperature, accounting for the nonlinearity of the measurement thermocouple. If the setpoint temperature range is within the operating range (-55°C to +125°C) of the AD594/AD595, the chip can be used as the transducer for the circuit by shorting the inputs together and utilizing the nominal calibration of 10 mV/°C. This is the centigrade thermometer configuration as shown in Figure 13.

In operation if the setpoint voltage is above the voltage corresponding to the temperature being measured the output swings low to approximately zero volts. Conversely, when the temperature rises above the setpoint voltage the output switches to the positive limit of about 4 volts with a +5 V supply. Figure 9 shows the setpoint comparator configuration complete with a heater element driver circuit being controlled by the AD594/AD595 toggled output. Hysteresis can be introduced by injecting a current into the positive input of the feedback amplifier when the output is toggled high. With an AD594 about 200 nA into the +T terminal provides 1°C of hysteresis. When using a single 5 V supply with an AD594, a 20 M Ω resistor from V_O to +T will supply the 200 nA of current when the output is forced high (about 4 V). To widen the hysteresis band decrease the resistance connected from V_O to +T.

ALARM CIRCUIT

In all applications of the AD594/AD595 the -ALM connection, Pin 13, should be constrained so that it is not more positive than $(V+) - 4\text{ V}$. This can be most easily achieved by connecting Pin 13 to either common at Pin 4 or $V-$ at Pin 7. For most applications that use the alarm signal, Pin 13 will be grounded and the signal will be taken from +ALM on Pin 12. A typical application is shown in Figure 10.

In this configuration the alarm transistor will be off in normal operation and the 20 k Ω pull up will cause the +ALM output on Pin 12 to go high. If one or both of the thermocouple leads are interrupted, the +ALM pin will be driven low. As shown in Figure 10 this signal is compatible with the input of a TTL gate which can be used as a buffer and/or inverter.

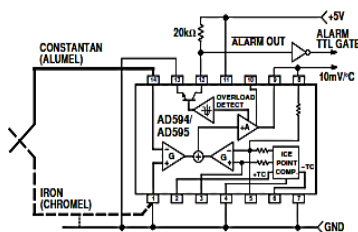


Figure 10. Using the Alarm to Drive a TTL Gate ("Grounded" Emitter Configuration)

Since the alarm is a high level output it may be used to directly drive an LED or other indicator as shown in Figure 11.

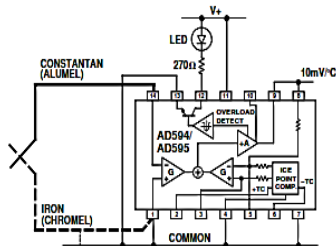


Figure 11. Alarm Directly Drives LED

A 270 Ω series resistor will limit current in the LED to 10 mA, but may be omitted since the alarm output transistor is current limited at about 20 mA. The transistor, however, will operate in a high dissipation mode and the temperature of the circuit will rise well above ambient. Note that the cold junction compensation will be affected whenever the alarm circuit is activated. The time required for the chip to return to ambient temperature will depend on the power dissipation of the alarm circuit, the nature of the thermal path to the environment and the alarm duration.

The alarm can be used with both single and dual supplies. It can be operated above or below ground. The collector and emitter of the output transistor can be used in any normal switch configuration. As an example a negative referenced load can be driven from -ALM as shown in Figure 12.

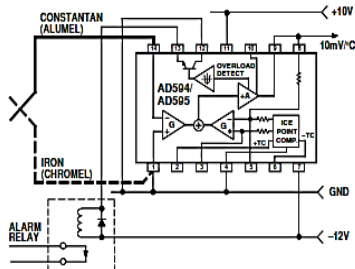


Figure 12. -ALM Driving A Negative Referenced Load

The collector (+ALM) should not be allowed to become more positive than $(V-) + 36\text{ V}$, however, it may be permitted to be more positive than $V+$. The emitter voltage (-ALM) should be constrained so that it does not become more positive than 4 volts below the $V+$ applied to the circuit.

Additionally, the AD594/AD595 can be configured to produce an extreme upscale or downscale output in applications where an extra signal line for an alarm is inappropriate. By tying either of the thermocouple inputs to common most runaway control conditions can be automatically avoided. A +IN to common connection creates a downscale output if the thermocouple opens, while connecting -IN to common provides an upscale output.

CELSIUS THERMOMETER

The AD594/AD595 may be configured as a stand-alone Celsius thermometer as shown in Figure 13.

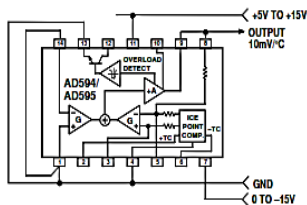


Figure 13. AD594/AD595 as a Stand-Alone Celsius Thermometer

Simply omit the thermocouple and connect the inputs (Pins 1 and 14) to common. The output now will reflect the compensation voltage and hence will indicate the AD594/AD595 temperature with a scale factor of 10 mV/°C. In this three-terminal, voltage output, temperature sensing mode, the AD594/AD595 will operate over the full military -55°C to +125°C temperature range.

AD594/AD595

THERMOCOUPLE BASICS

Thermocouples are economical and rugged; they have reasonably good long-term stability. Because of their small size, they respond quickly and are good choices where fast response is important. They function over temperature ranges from cryogenics to jet-engine exhaust and have reasonable linearity and accuracy.

Because the number of free electrons in a piece of metal depends on both temperature and composition of the metal, two pieces of dissimilar metal in isothermal and contact will exhibit a potential difference that is a repeatable function of temperature, as shown in Figure 14. The resulting voltage depends on the temperatures, T_1 and T_2 , in a repeatable way.

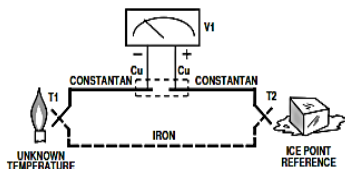


Figure 14. Thermocouple Voltage with 0°C Reference

Since the thermocouple is basically a differential rather than absolute measuring device, a known reference temperature is required for one of the junctions if the temperature of the other is to be inferred from the output voltage. Thermocouples made of specially selected materials have been exhaustively characterized in terms of voltage versus temperature compared to primary temperature standards. Most notably the water-ice point of 0°C is used for tables of standard thermocouple performance.

An alternative measurement technique, illustrated in Figure 15, is used in most practical applications where accuracy requirements do not warrant maintenance of primary standards. The reference junction temperature is allowed to change with the environment of the measurement system, but it is carefully measured by some type of absolute thermometer. A measurement of the thermocouple voltage combined with a knowledge of the reference temperature can be used to calculate the measurement junction temperature. Usual practice, however, is to use a convenient thermoelectric method to measure the reference temperature

and to arrange its output voltage so that it corresponds to a thermocouple referred to 0°C. This voltage is simply added to the thermocouple voltage and the sum then corresponds to the standard voltage tabulated for an ice-point referenced thermocouple.

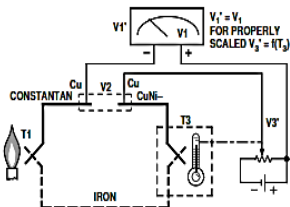


Figure 15. Substitution of Measured Reference Temperature for Ice Point Reference

The temperature sensitivity of silicon integrated circuit transistors is quite predictable and repeatable. This sensitivity is exploited in the AD594/AD595 to produce a temperature related voltage to compensate the reference of "cold" junction of a thermocouple as shown in Figure 16.

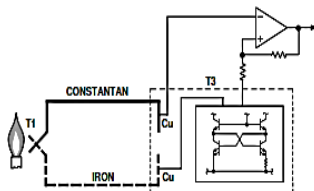


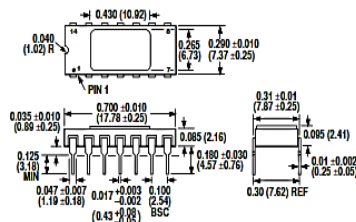
Figure 16. Connecting Isothermal Junctions

Since the compensation is at the reference junction temperature, it is often convenient to form the reference "junction" by connecting directly to the circuit wiring. So long as these connections and the compensation are at the same temperature no error will result.

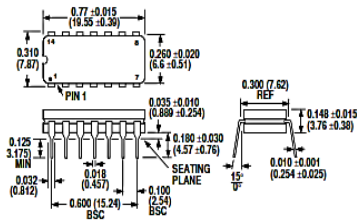
OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

TO-116 (D) Package



Cerdip (Q) Package



C.3. Datasheet LM358



**LM158,A-LM258,A
LM358,A**

LOW POWER DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

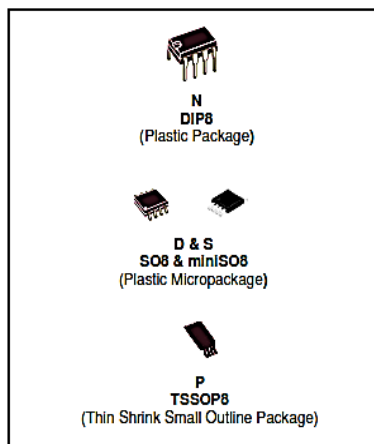
- INTERNALLY FREQUENCY COMPENSATED
- LARGE DC VOLTAGE GAIN: 100dB
- WIDE BANDWIDTH (unity gain): 1.1MHz (temperature compensated)
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/OP (500µA) ESSENTIALLY INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 20nA (temperature compensated)
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE: 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT: 2nA
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE RANGE EQUAL TO THE POWER SUPPLY VOLTAGE
- LARGE OUTPUT VOLTAGE SWING 0V TO ($V_{CC} - 1.5V$)

DESCRIPTION

These circuits consist of two independent, high gain, internally frequency compensated which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. The low power supply drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, these circuits can be directly supplied with the standard +5V which is used in logic systems and will easily provide the required interface electronics without requiring any additional power supply.

In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.



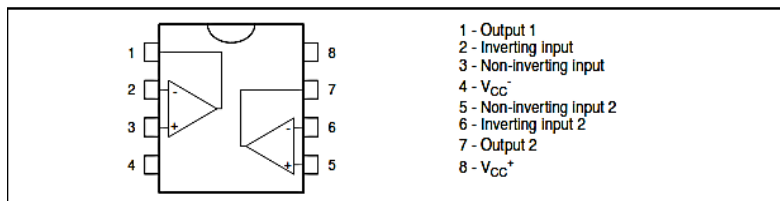
ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package			
		N	S	D	P
LM158,A	-55°C, +125°C	■		■	■
LM258,A	-40°C, +105°C	■		■	■
LM358,A	0°C, +70°C	■	■	■	■

Example : LM258N

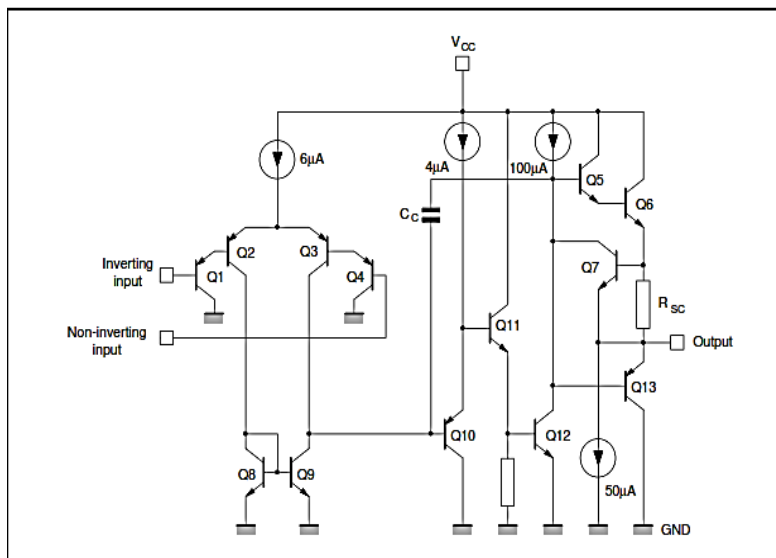
N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
S = Small Outline Package (miniSO) only available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

PIN CONNECTIONS (top view)



LM158,A-LM258,A-LM358,A

SCHEMATIC DIAGRAM (1/2 LM158)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM158,A	LM258,A	LM358,A	Unit
V_{CC}	Supply voltage	+32			V
V_i	Input Voltage	-0.3 to +32			V
V_{id}	Differential Input Voltage	+32			V
P_{tot}	Power Dissipation ¹⁾	500			mW
	Output Short-circuit Duration ²⁾	Infinite			
I_{in}	Input Current ³⁾	50			mA
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature (T_j) is not exceeded.

2. Short-circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating if $V_{CC} > 15V$. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC} . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.

3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip; this transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V_{CC} voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative.
This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC}^+ = +5V$, $V_{CC}^- = \text{Ground}$, $V_O = 1.4V$, $T_{amb} = +25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	LM158A-LM258A LM358A			LM158-LM258 LM358			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage - note ¹⁾ $T_{amb} = +25^\circ C$ LM158, LM258 LM158A $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ LM158, LM258		1	3 2 4		2	7 5 9 7	mV
I_{io}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	10 30		2	30 40	nA
I_{ib}	Input Bias Current - note ²⁾ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	50 100		20	150 200	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain $V_{CC} = +15V$, $R_L = 2k\Omega$, $V_O = 1.4V$ to $11.4V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	100		50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_s \leq 10k\Omega$) $V_{CC}^+ = 5V$ to $30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	65 65	100		65 65	100		dB
I_{CC}	Supply Current, all Amp, no load $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$		0.7	1.2 1		0.7	1.2 2	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range $V_{CC} = +30V$ - note ³⁾ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_s \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 60	85		70 60	85		dB
I_{source}	Output Current Source $V_{CC} = +15V$, $V_O = +2V$, $V_{id} = +1V$	20	40	60	20	40	60	mA
I_{sink}	Output Sink Current ($V_{id} = -1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_O = +2V$ $V_{CC} = +15V$, $V_O = +0.2V$	10 12	20 50		10 12	20 50		mA μA
V_{OPP}	Output Voltage Swing ($R_L = 2k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	

LM158,A-LM258,A-LM358,A

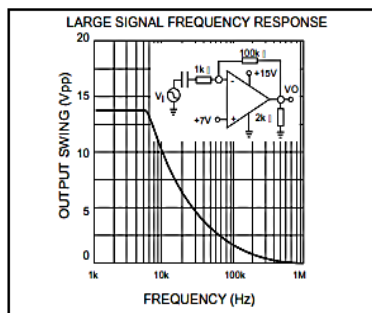
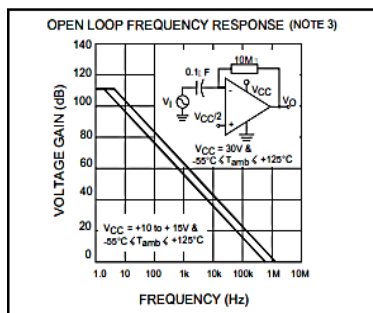
Symbol	Parameter	LM158A-LM258A LM358A			LM158-LM258 LM358			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{OH}	High Level Output Voltage ($V_{CC}^+ = 30V$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $R_L = 2k\Omega$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $R_L = 10k\Omega$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	26 26 27 27	27 28		26 26 27 27	27 28		V
V_{OL}	Low Level Output Voltage ($R_L = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	20 20		5	20 20	mV
SR	Slew Rate $V_{CC} = 15V$, $V_i = 0.5$ to $3V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity Gain	0.3	0.6		0.3	0.6		V/ μs
GBP	Gain Bandwidth Product $V_{CC} = 30V$, $f = 100kHz$, $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$	0.7	1.1		0.7	1.1		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz$, $A_v = 20dB$, $R_L = 2k\Omega$, $V_o = 2V_{pp}$, $C_L = 100pF$, $V_O = 2V_{pp}$		0.02			0.02		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz$, $R_s = 100\Omega$, $V_{CC} = 30V$		55			55		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		7	15		7	30	$\mu V/^\circ C$
DI_{io}	Input Offset Current Drift		10	200		10	300	$pA/^\circ C$
V_{o1}/V_{o2}	Channel Separation - note 4) $1kHz \leq f \leq 20kHz$		120			120		dB

1. $V_s = 1.4V$, $R_s = 0\Omega$, $5V < V_{CC}^+ < 30V$, $0 < V_e < V_{CC}^+ - 1.5V$

2. The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

3. The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC}^+ - 1.5V$, but either or both inputs can go to +32V without damage.

4. Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be defected as this type of capacitance increases at higher frequencies.



LAMPIRAN D

(Tabel *T*- Student Distribution (*T*- Distribution))

Upper critical values of Student's *t* distribution with *v*degrees of freedom

<i>v</i>	Probability of exceeding the critical value					
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
1.	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	318.313
2.	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327
3.	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215
4.	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173
5.	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893
6.	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208
7.	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.782
8.	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.499
9.	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.296
10.	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.143
11.	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.024
12.	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.929
13.	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852
14.	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787
15.	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733
16.	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686
17.	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646
18.	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610
19.	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579
20.	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552
21.	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527
22.	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505
23.	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485
24.	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467
25.	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450
26.	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435
27.	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421
28.	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408
29.	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396
30.	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385
31.	1.309	1.696	2.040	2.453	2.744	3.375
32.	1.309	1.694	2.037	2.449	2.738	3.365
33.	1.308	1.692	2.035	2.445	2.733	3.356
34.	1.307	1.691	2.032	2.441	2.728	3.348
35.	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	3.340
36.	1.306	1.688	2.028	2.434	2.719	3.333
37.	1.305	1.687	2.026	2.431	2.715	3.326
38.	1.304	1.686	2.024	2.429	2.712	3.319
39.	1.304	1.685	2.023	2.426	2.708	3.313
40.	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307
41.	1.303	1.683	2.020	2.421	2.701	3.301
42.	1.302	1.682	2.018	2.418	2.698	3.296
43.	1.302	1.681	2.017	2.416	2.695	3.291
44.	1.301	1.680	2.015	2.414	2.692	3.286
45.	1.301	1.679	2.014	2.412	2.690	3.281
46.	1.300	1.679	2.013	2.410	2.687	3.277
47.	1.300	1.678	2.012	2.408	2.685	3.273
48.	1.299	1.677	2.011	2.407	2.682	3.269
49.	1.299	1.677	2.010	2.405	2.680	3.265
50.	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	3.261

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil penelitian tugas akhir yang sudah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Pada sistem monitoring temperatur ini menggunakan sensor *thermocouple*, proses *recording* berhasil dilakukan secara *real time* pada *software Microsoft Visual Studio 2013* yang kemudian data disimpan dalam *database My SQL* dan ditampilkan dalam grafik temperatur terhadap waktu dengan *time sampling* yang dapat dilakukan selama 1, 2, 3, 4, dan 5 menit sesuai keinginan *user*.
- b. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai karakteristik statik alat ukur yaitu, sensor pada *tube* memiliki *range* sebesar 30°C – 90°C, *span* 60°C, resolusi 0,01, sensitifitas 1,000367, akurasi 98,99%, dan histerisis 0,000491%. Sensor pada *shell* memiliki *range* sebesar 30°C – 90°C, *span* 60°C, resolusi 0,01, sensitifitas 1,024867, serta akurasi 98,9835%.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk dilakukan penelitian selanjutnya yaitu:

- a. Melakukan penelitian dengan variasi temperatur pada *inlet* dan *outlet tube heat exchanger* serta dilakukan pengontrolan *flowrate* pada *shell* dan *tube heat exchanger*.
- b. Melakukan perhitungan kualitas perpindahan panas sebelum pembuatan desain *heat exchanger*.

Halaman ini memang dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. Karakteristik Statik Sistem Pengukuran. Program Studi S1 Teknik Fisika ITS. Surabaya
- [2] Cengel, A Yunus. 2002. *Introduction To Thermodynamics and Heat Transfer 2nd Edition*.
- [3] Cahyati, Yeni. 2012. Karakteristik Statik Pengukuran. Fisika Bidang Minat Biofisika dan Fisika Medis. Malang: Universitas Brawijaya
- [4] Effendrik, Popong., dan Gatot Joelianto. Hari Sucipto. 2014. "Karakteristik *Thermocouple* Dengan Menggunakan Perangkat Lunak MATLAB – SIMULINK". Jurnal ELTEK Vol 12 Nomor 01 Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politenik Negeri Malang
- [5] Howarth, Preben., dan Fiona Redgrave. 2005. Metrologi Sebuah Pengantar: *Metrology in Short 2nd Edition*. Euramet e V. Diterjemahkan oleh A Praba Drijarkara dan Gufron Zaid. Jakarta: Puslit KIM LIPI
- [6] KAN.2013. "Pedoman Evaluasi dan Pelaporan Ketidakpastian Pengukuran". Pedoman KAN DP.01.23. Jakarta.
- [7] Peter, Jerry. 2007. XAMPP: Paket Apache, Php Dan Mysql Instant. Jakarta: Komunikasi Elearning Ilmu Komputer.Com
- [8] Sitompul, M Tunggul.1993." Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)". Jakarta: Manajemen PT Raya Grafindo Persada



BIODATA PENULIS

Nama lengkap penulis Devi Nur Indah Sari, biasa dipanggil Devi, dilahirkan di Kabupaten Lamongan pada tanggal 1 April 1993 dari ayah bernama Musholin dan ibu bernama Sudarmani. Penulis merupakan anak bungsu dari dua bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Desa Latukan RT. 14 RW. 03 Kecamatan Karanggeneng Kabupaten Lamongan Pada tahun 2006, penulis menyelesaikan pendidikan tingkat dasar di SDN Latukan Karanggeneng Lamongan. Pada tahun 2010 penulis menyelesaikan pendidikan tingkat menengah di SMPN 1 Karanggeneng Lamongan. Tahun 2012 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 1 Lamongan. Dan pada tahun 2013, penulis menyelesaikan pendidikan diploma 1 di PAPSI (Pendidikan Ahli Pemrograman Sistem Informasi FMIPA ITS serta pada tahun 2016 ini penulis mampu menyelesaikan gelar ahli madya di Program Studi DIII-Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING TEMPERATUR PADA MINI PLANT HEAT EXCHANGER TIPE SHELL DAN TUBE BERBASIS MICROSOFT VISUAL BASIC”**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui email: devinur.indahsari@gmail.com.